



TUGAS AKHIR - TF 141581

**PERANCANGAN *LOW-COST DUAL-WAVELENGTH LASER POWER METER* UNTUK
SINGLE-MODE OPTICAL FIBER BASED
TRANSMISSION SYSTEM DENGAN
MENGUNAKAN ARDUINO**

**AYU RACHMA PERMATA SARI
NRP. 2411 100 033**

**Dosen Pembimbing :
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.
Dwi Hanto, M. Si.**

**JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**



FINAL PROJECT - TF 141581

DESIGN OF LOW-COST DUAL-WAVELENGTH LASER POWER METER FOR SINGLE-MODE OPTICAL FIBER BASED TRANSMISSION SYSTEM WITH ARDUINO

AYU RACHMA P S
NRP. 2411 100 033

Supervisors :
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.
Dwi Hanto, M.Si.

ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN *LOW-COST DUAL WAVELENGTH* *LASER POWER METER* UNTUK *SINGLE-MODE OPTICAL* *FIBER BASED TRANSMISSION SYSTEM* DENGAN MENGUNAKAN ARDUINO

TUGAS AKHIR

Oleh:

AYU RACHMA P S
NRP. 2411 100 033

Surabaya, Januari 2016
Mengetahui/Menyetujui,

Pembimbing I



(Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.)
NIP. 19500402 197901 1 001

Pembimbing II



(Dwi Hanto, M.Si.)
NIP. 19840425 200812 1 003

Ketua Jurusan
Teknik Fisika, FTI – ITS



(Agus Muhammad Hanto, S. T., M. Si., Ph. D.)

NIP. 19780902 200312 1 002

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN *LOW-COST DUAL WAVELENGTH* LASER POWER METER UNTUK *SINGLE-MODE OPTICAL* *FIBER BASED TRANSMISSION SYSTEM* DENGAN MENGUNAKAN ARDUINO

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Fotonika
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Ayu Rachma P S
NRP 2411100033

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.

Dwi Hanto, M. Si.

Dr. Ir. Aulia MTN, M.Sc.

Ir. Apriani Kusuma W, M.Sc.

Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.

Herry Sufyan Hadi, S.T., M.T.

(Pembimbing)

(Pembimbing)

(Ketua Penguji)

(Penguji)

(Penguji)

(Penguji)

SURABAYA, Januari 2016

PERANCANGAN *LOW-COST DUAL-WAVELENGTH LASER POWER METER* UNTUK *SINGLE-MODE OPTICAL FIBER BASED TRANSMISSION SYSTEM* DENGAN MENGGUNAKAN ARDUINO

NAMA : AYU RACHMA P S
NRP : 2411 100 033
JURUSAN : TEKNIK FISIKA
DOSEN PEMBIMBING : Prof, Dr, Ir. Sekartedjo, M.Sc.
Dwi Hanto, M.Si.

Abstrak

Daya optis merupakan salah satu parameter penting pada sistem transmisi serat optik. Untuk mendukung aplikasi sistem transmisi serat optik dibutuhkan alat ukur daya optis dengan harga terjangkau namun tetap memiliki akurasi yang tinggi. Pada Tugas Akhir ini dilakukan perancangan *Low-cost Dual-Wavelength Laser Power Meter* berbasis Arduino. Algoritma Finite State Machine (FSM) diimplementasikan pada Arduino sebagai pengolah data. Rancangan laser power meter diujicobakan pada laser dioda dengan panjang gelombang 1310 nm dan 1552 nm. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan OPM Standar ML9002A sebagai validasi. Dari hasil validasi tersebut, diperoleh nilai akurasi, presisi, dan repeatability yang sangat baik.

Kata Kunci— Laser Power Meter, Finite State Machine, Arduino, Daya Optis

**DESIGN OF LOW COST DUAL-WAVELENGTH LASER POWER
METER FOR SINGLE-MODE OPTICAL FIBER BASED
TRANSMISSION SYSTEM CONTROLLING SYSTEM WITH
ARDUINO**

NAME : AYU RACHMA P S
NRP : 2411 100 033
DEPARTMENT : ENGINEERING PHYSICS
SUPERVISOR : Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.
Dwi Hanto, M.Si.

Abstract

Optical power is one of important parameters of optical fiber based transmission system. Low cost but accurate measurement devices are necessary for the application of optical fiber based transmission system. On this final project, the designing of Arduino based low-cost dual-wavelength laser power meter has been done. The Finite State Machine (FSM) algorithm is used as data processing. The system is used to measure the optical power of 1310 nm and 1552 nm laser diode. The laser power meter being validated by OPM ML9002A. The validation result shows a good score on accuracy, precision, and repeatability.

Keyword— *laser power meter, Finite State Machine, Arduino, optical power*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur senantiasa terpanjatkan kepada Allah SWT yang Maha Agung dan Maha Bijaksana. Atas berkat, petunjuk dan kasih sayang-Nya, penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul :

PERANCANGAN *LOW-COST DUAL-WAVELENGTH LASER POWER METER* UNTUK *SINGLE-MODE OPTICAL FIBER BASED TRANSMISSION SYSTEM* DENGAN MENGGUNAKAN ARDUINO

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini, yaitu:

1. Jurusan Teknik Fisika FTI – ITS yang telah menjadi tempat penulis menimba ilmu selama masa kuliah hingga penulisan tugas akhir ini,
2. Pusat Penelitian Fisika – LIPI yang telah memberikan ijin dan fasilitas untuk melakukan penelitian dalam tugas akhir ini,
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Sekartedjo. M.Sc selaku pembimbing serta kepala Laboratorium dan kepala bidang minat Rekayasa Fotonika yang telah memberi banyak ilmu, pengetahuan, wawasan dan bimbingan moral,
4. Bapak Dwi Hanto, M.Si. selaku pembimbing tugas akhir di pusat penelitian fisika LIPI yang telah memberikan bimbingan kepada penulis selama melakukan penelitian di pusat penelitian fisika LIPI,
5. Segenap Bapak/Ibu Dosen pengajar di Jurusan Teknik Fisika FTI – ITS yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama menempuh kuliah di jurusan Teknik Fisika FTI – ITS, serta seluruh staf tata usaha jurusan Teknik Fisika FTI – ITS yang telah memberikan dukungan secara administrasi,
6. Semua keluarga di rumah yang telah memberikan banyak motivasi, doa, kasih sayang dan perhatian yang sangat berharga,

7. Semua pihak yang turut membantu dan memperlancar pengerjaan tugas ini. Terima Kasih yang sebesar-besarnya semoga Allah SWT membalasnya dengan pahala yang berlebih. Amin.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini bukanlah suatu hasil yang sempurna, hanya harapan agar tugas ini menjadi referensi bagi rekan-rekan untuk menambah wawasan bagi pembaca dan dapat digunakan sebagai referensi pengerjaan tugas akhir selanjutnya. Semoga yang sederhana ini dapat menjadi motivasi untuk berkembang lebih hebat lagi.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan.....	v
Abstrak	ix
Abstract	xi
Kata Pengantar	xiii
Daftar Isi.....	xv
Daftar Gambar.....	xvii
Daftar Tabel.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sistem Transmisi Serat Optik.....	5
2.2 <i>Injection Laser Diode</i>	6
2.3 <i>Laser Power Meter</i>	8
2.4 Fotodioda	10
2.5 Daya Optis.....	12
2.6 <i>Transimpedance Amplifier (TIA)</i>	13
2.7 Relay	14
2.8 Serat Optik Moda Tunggal.....	16
2.9 Arduino	17
2.10 <i>Analog to Digital Converter (ADC)</i>	18
2.11 <i>Finite State Machine (FSM)</i>	19
2.12 Sistem Pengukuran.....	20
2.13 Karakteristik Statis Sistem Pengukuran.....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Desain dan Pembuatan Laser Power Meter.....	26
3.1.1 Rangkaian Dasar Laser Power Meter	26
3.1.2 Rangkaian Relay.....	28
3.1.3 Rangkaian Arduino dan Display	29
3.2 Karakterisasi Cahaya.....	30

3.3 Desain dan Pembuatan Program Laser Power Meter pada Arduino	31
3.4. Validasi Sistem Pengukuran Daya Optis	34
3.5. Rincian Biaya Pembuatan Laser Power Meter	35
3.6. Analisa dan Pembahasan	35

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Perancangan Laser Power Meter	37
4.2. Hasil Karakterisasi Cahaya untuk Pembuatan Database ..	37
4.3. Pemrosesan Sinyal pada Laser Power Meter	47
4.4. Validasi Rangkaian Laser Power Meter	49

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	53
5.2. Saran	54

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Nilai redaman per km pada serat optik	7
Gambar 2.2 Rangkaian Dasar Power Meter	9
Gambar 2.3 Skema OPM	10
Gambar 2.4 Responsivitas Fotodiode	12
Gambar 2.5 Rangkaian Dasar TIA	14
Gambar 2.6 Contoh Aplikasi Relay	15
Gambar 2.7 Skema Struktural Serat Optik	16
Gambar 2.8 Contoh diagram <i>state</i> sederhana	20
Gambar 2.9 Struktur Umum Sistem Pengukuran	20
Gambar 2.10 Diagram blok sistem pengukuran daya optis ...	21
Gambar 2.10 <i>Error bands</i>	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Tugas Akhir	25
Gambar 3.2 Rangkaian Dasar Power Meter	27
Gambar 3.3 Skema Rangkaian Laser Power Meter	30
Gambar 3.4 Skema Karakterisasi Rancangan Laser Power Meter	31
Gambar 3.5 Skema FSM pengukuran laser 1310 nm	33
Gambar 3.6 Skema FSM pengukuran laser 1552 nm	33
Gambar 3.7 Skema Validasi Sistem Pengukuran Daya Optis	34
Gambar 4.1 <i>Set-up</i> Sistem Pengukuran Daya Optis	37
Gambar 4.2 Grafik Karakterisasi Laser 1310 nm dengan..... menggunakan $R=90\ \Omega$	38
Gambar 4.3 Grafik Karakterisasi Laser 1310 nm dengan..... menggunakan $R=900,01\ \Omega$	38
Gambar 4.4 Grafik Karakterisasi Laser 1310 nm dengan menggunakan $R=9000,9\ \Omega$	39
Gambar 4.5 Grafik Karakterisasi Laser 1310 nm dengan menggunakan $R=90090,9\ \Omega$	39
Gambar 4.6 Grafik Karakterisasi Laser 1310 nm dengan menggunakan $R=909090,9\ \Omega$	40
Gambar 4.7 Grafik Karakterisasi Laser 1310 nm dengan menggunakan $R=10\ M\ \Omega$	40
Gambar 4.8 Hasil Karakterisasi Pengukuran Daya Optis dengan Menggunakan Laser 1310 nm	41

Gambar 4.9 Grafik Karakterisasi Laser 1552 nm dengan menggunakan R=90 Ohm	42
Gambar 4.10 Grafik Karakterisasi Laser 1552 nm dengan menggunakan R=900,01 Ohm	42
Gambar 4.11 Grafik Karakterisasi Laser 1552 nm dengan menggunakan R=9000,9 Ohm	43
Gambar 4.12 Grafik Karakterisasi Laser 1552 nm dengan menggunakan R=90090,9 Ohm	43
Gambar 4.13 Grafik Karakterisasi Laser 1552 nm dengan menggunakan R=909090,9 Ohm	44
Gambar 4.14 Grafik Karakterisasi Laser 1552 nm dengan menggunakan R=10 M Ohm.....	44
Gambar 4.15 Hasil Karakterisasi Pengukuran Daya Optis dengan Menggunakan Laser 1552 nm	45
Gambar 4.16 Skema Prinsip Kerja Sistem Kontrol Rancangan Laser Power Meter	48
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Pengukuran Daya Optis Laser 1310 nm dan 1552 nm dengan Menggunakan OPM Komersil dan OPM Arduino	49
Gambar 4.18 Pengukuran Daya Optis Laser 1310 nm.....	50
Gambar 4.19 Pengukuran Daya Optis Laser 1552 nm.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Nilai kombinasi feedback resistor	27
Tabel 3.2 Konfigurasi Pin Op-Amp.....	28
Tabel 3.3 Konfigurasi relay dan resistor.....	28
Tabel 3.4 Konfigurasi Pin LCD.....	29
Tabel 3.5 Mode pada FSM	32
Tabel 3.4 Masukan pada FSM.....	32
Tabel 3.5 Rincian Perkiraan Biaya Pembuatan Power Meter.....	35
Tabel 4.1 Persamaan Daya Optis berdasarkan Tegangan Output.....	46



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transmisi menurut KBBI (Kamus Besar Bahasa Indonesia) (Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional, 2008) adalah pengiriman (penerusan) pesan dan sebagainya dari seseorang kepada orang (benda) lain. Sedangkan sistem transmisi adalah sistem yang mendukung proses pengiriman tersebut. Dalam komunikasi, sistem transmisi digunakan untuk menyampaikan informasi dari pihak pengirim kepada pihak penerima.

Sistem transmisi serat optik adalah sistem transmisi yang menggunakan serat optik sebagai media transmisinya. Sistem ini telah banyak digunakan menggantikan sistem konvensional yang menggunakan kabel tembaga. Serat optik dipilih karena memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan kabel tembaga, antara lain: loss transmisi yang lebih rendah dan bandwidth yang lebar; ukuran kecil serta ringan; memiliki imunitas terhadap interferensi gelombang elektromagnetik; isolasi terhadap gelombang listrik; keamanan sinyal informasi; serta bahan baku yang banyak tersedia di alam (Keiser, 1991).

Dalam sistem transmisi serat optik terdapat tiga komponen utama, yaitu sumber cahaya (*transmitter*), serat optik sebagai media transmisi, serta detektor cahaya. Terdapat dua jenis sumber cahaya yang dapat digunakan dalam sistem transmisi serat optik, yaitu LED dan laser. Pemilihan sumber cahaya disesuaikan dengan kebutuhan dari sistem transmisi yang digunakan. Misalnya LED digunakan untuk sistem transmisi jarak pendek dan menengah sedangkan laser digunakan pada sistem transmisi jarak jauh. Cahaya yang ditransmisikan oleh sumber cahaya ini berfungsi sebagai pembawa (*carrier*) informasi yang akan melewati serat optik menuju ke penerima. Ketika cahaya keluar dari transmitter dan melewati serat optik, cahaya mengalami atenuasi. Atenuasi ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain *bending loss*, dispersi modal, dispersi materi, dll (Keiser, 1991).

Dalam sistem transmisi, data yang dikirim diharapkan sampai pada penerima secara utuh untuk menjaga kelengkapan informasi yang dikirim. Untuk menjaga keutuhan informasi yang diperoleh oleh pihak penerima, harus dipastikan tidak terjadi loss ketika pengiriman data. Perhitungan loss dan daya optis dibutuhkan dalam perancangan, instalasi, serta *maintenance* sistem transmisi serat optik. Loss atau redaman pada sistem transmisi serat optik sangat berpengaruh terhadap kualitas sistem secara keseluruhan (Santoso, 2014). Loss dalam sistem transmisi serat optik merupakan fungsi dari daya optis, dimana loss merupakan selisih daya input dengan daya output (Wadhana & Setijono, 2010).

Seiring dengan meningkatnya penggunaan serat optik sebagai media transmisi, dibutuhkan *Optical Power Meter* (OPM) sebagai alat pendukung sistem. OPM adalah alat yang digunakan untuk mengukur daya optis dari suatu sumber cahaya. Daya optis hasil pengukuran OPM dinyatakan dalam satuan dBm atau Watt (Instrument, n.d.).

Hanya saja, OPM di pasaran memiliki harga yang cukup tinggi, yaitu mencapai angka 2 juta rupiah atau lebih. Selain itu OPM di pasaran mempunyai range pengukuran tertentu. Untuk itu perlu adanya power meter dengan harga terjangkau namun tetap memiliki akurasi tinggi serta dapat digunakan untuk mengukur daya optis dengan range pengukuran sesuai dengan kebutuhan.

Dalam sistem transmisi serat optik, serat optik digunakan sebagai penghubung antara sumber cahaya (transmitter) dengan detektor (*receiver*) pada power meter. Dengan menggunakan fiber optik, cahaya dari sumber yang digunakan dalam sistem diarahkan tepat pada permukaan detektor sehingga mengurangi efek loss serta sekaligus menjaga sistem dari pengaruh pencahayaan lingkungan.

D Choudhury dkk, dalam penelitiannya membuat rancang bangun power meter sederhana dengan menggunakan LDR (*Light-dependent Resistor*) sebagai detektor optis (Choudhury, Devi, & Barbara, 2006). Dalam penelitiannya, D Choudhury dkk, menggunakan silinder yang dilapisi dengan material gelap guna

memfokuskan cahaya pada permukaan LDR. Silinder ini memiliki kelemahan yaitu rumit dalam pemasangan serta efisiensi yang rendah jika dibandingkan dengan menggunakan serat optik.

Selain itu dalam penelitian tersebut, rancang bangun power meter yang dibuat menggunakan komputer sebagai *ready reference*. Sinyal cahaya yang telah dikonversi, diproses serta dikalibrasi melalui rangkaian power meter harus dimasukkan dalam komputer untuk dapat mengetahui nilai daya optisnya. Hal ini tentu saja mengurangi efisiensi serta mobilitas power meter.

Pada tugas akhir ini dilakukan perancangan *low-cost multiwavelength laser power meter* untuk *single-mode optical fiber based transmission system* dengan menggunakan Arduino. Rancangan power meter yang dibuat diharap dapat menjawab kebutuhan akan power meter yang murah namun tetap memiliki akurasi yang tinggi serta memiliki range pengukuran yang lebar.

Untuk dapat terus meningkatkan kualitas dari rancang bangun power meter, perlu digunakan prosesor sistem yang murah, mudah diperoleh, serta dapat dikembangkan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Oleh karena itu pada tugas akhir ini dibuat rancangan laser power meter dengan menggunakan arduino. Arduino dalam sistem ini akan berfungsi sebagai prosesor sistem, serta memenuhi fungsi *autoranging* guna menentukan range pengukuran laser power meter. Dengan menggunakan arduino power meter yang dibuat akan dapat terus dikembangkan karena arduino bersifat *open-source*, mudah diperoleh, serta terjangkau. Selain itu dengan menggunakan arduino, power meter bersifat portabel karena tidak tersambung pada komputer sehingga mudah dalam mobilisasi.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang harus diselesaikan dalam pelaksanaan tugas akhir ini adalah bagaimana merancang *low cost multi-wavelength laser power meter* dengan menggunakan arduino.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Cahaya yang akan diukur adalah laser dioda dengan panjang gelombang 1310 nm dan 1552 nm
2. Media transmisi yang digunakan berupa *single mode-fiber optic*.
3. *Attenuator* HP 8156A digunakan sebagai variasi input.
4. OPM ML9002A digunakan sebagai validator rancangan OPM.

1.4 Tujuan

Tujuan tugas akhir ini adalah untuk memperoleh rancangan *low cost multi-wavelength laser power meter* dengan menggunakan Arduino.

1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan rancangan *low-cost multiwavelength laser power meter* untuk *single-mode optical fiber based transmission system* dengan menggunakan arduino dan selanjutnya dapat diaplikasikan dalam perancangan OPM untuk sumber cahaya berbeda serta range pengukuran yang lebih lebar.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori penunjang dalam perancangan *low-cost multiwavelength laser power meter* untuk *single-mode optical fiber based transmission system* dengan menggunakan arduino.

2.1 Sistem Transmisi Serat Optik

Sistem transmisi serat optik memanfaatkan serat optik sebagai media transmisinya karena dinilai jauh lebih unggul daripada media transmisi lain, misalnya kabel tembaga. Menurut Gerd Keiser dalam bukunya *Optical Fiber Communications*, serat optik memiliki beberapa keunggulan diantaranya sebagai berikut:

1. Loss transmisi yang rendah serta *bandwidth* yang lebar

Serat optik memiliki loss transmisi yang lebih rendah dan *bandwidth* yang lebih lebar daripada kabel tembaga. Dimana kabel tembaga mempunyai redaman sebesar 50 dB/km pada kecepatan modulasi sinyal 1 GHz. Sedangkan pada kecepatan modulasi sinyal 1 MHz, kabel tembaga masih menghasilkan redaman sebesar 2,5 dB/km. Di lain pihak, serat optik silika hanya menghasilkan redaman sebesar 0,25 dB/km (Envall, 2006).

Bandwidth kabel tembaga yang dapat diaplikasikan terletak pada angka dibawah 1GHz, sedangkan bandwidth yang diperoleh dengan menggunakan serat optik silika (SiO_2) mencapai 25THz (Envall, 2006).

Oleh karena itu dengan menggunakan serat optik lebih banyak data yang dapat dikirim pada jarak yang lebih jauh sehingga dapat meminimalisir jumlah kabel serta repeater yang dibutuhkan yang tentunya akan mengurangi biaya yang dikeluarkan.

2. Ringan dan berukuran kecil

Ukuran yang kecil serta bobot yang ringan memberikan banyak *keuntungan* jika dibandingkan dengan kabel tembaga

yang besar dan berat. Misalnya aplikasi serat optik pada pesawat, militer, satelit, dll.

3. Memiliki imunitas terhadap interferensi

Karena memiliki sifat dielektrik, serat optik menawarkan imunitas terhadap interferensi elektromagnetis (EMI) serta pulsa elektromagnetis (EMP).

4. Isolasi listrik

Karena serat optik terbuat dari kaca yang merupakan isolator listrik maka *ground loop* dan *crosstalk* antar fiber dapat dihindari. Hal ini juga bermanfaat ketika serat optik digunakan pada lingkungan yang rawan terhadap sinyal listrik.

5. Keamanan sinyal

Dengan menggunakan serat optik, keamanan tingkat tinggi dapat diperoleh karena sinyal optis terperangkap pada *waveguide*. Hal ini memberikan keuntungan pada aplikasi seperti jaringan komputer, bank serta sistem militer.

6. Bahan dasar yang murah dan banyak tersedia

Bahan dasar serat optik yaitu silika sangat melimpah dan murah karena dapat ditemukan pada pasir pada umumnya (Keiser, 1991).

Selain itu, sistem transmisi serat optik juga mempunyai redaman transmisi per km yang kecil jika dibandingkan dengan media transmisi lainnya seperti kabel coaxial dan kabel PCM. Sehingga serat optik sangat sesuai untuk digunakan dalam komunikasi jarak jauh sebab hanya membutuhkan sedikit *repeater*. Dalam hal kecepatan transmisi data dan informasi, serat optik juga lebih unggul karena memiliki bidang frekuensi yang lebar.

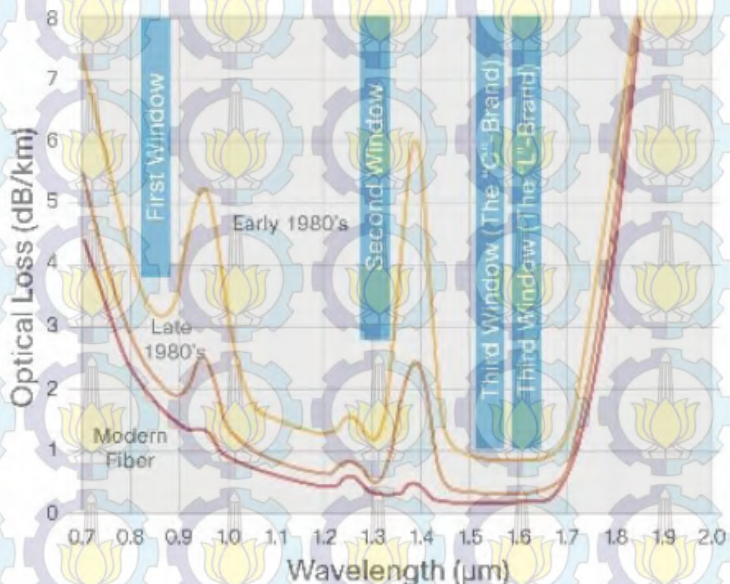
Terdapat tiga komponen utama dalam sistem transmisi serat optik, yaitu sumber cahaya (*transmitter*), serat optik sebagai media transmisi serta detektor optis (*receiver*).

2.2 Injection Laser Diode

Pada penelitian kali ini digunakan sumber cahaya berupa *Injection Laser Diode* (ILD) dengan panjang gelombang 1310 nm dan 1552 nm. Laser Dioda dipilih karena dalam transmisi serat

optik, laser dioda memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan LED, diantaranya: karena cahaya yang dihasilkan oleh laser terbentuk dari emisi terstimulasi (*stimulated emission*) maka cahaya yang dihasilkan bersifat koheren (memiliki jumlah energi, frekuensi serta arah propagasi yang sama antara satu foton dengan yang lain). Hal ini tidak dapat diperoleh dari LED yang menghasilkan cahaya melalui emisi spontan (*spontaneous emission*) dimana foton yang dihasilkan memiliki arah yang acak.

Selain itu sudut penyebaran berkas cahaya yang sempit dibandingkan dengan LED menghasilkan efisiensi *coupling* yang tinggi ($\sim 50\%$) melalui serat optik *single-mode* (Agrawal, 2002).



Gambar 2.1 Nilai redaman per km pada serat optik (Santoso, 2010)

Panjang gelombang 1310 nm dan 1552 nm dipilih karena merupakan panjang gelombang cahaya yang memiliki redaman yang paling rendah ketika digunakan sebagai *carrier* dalam sistem transmisi serat optik. Gambar 2.1 menunjukkan atenuasi

spektral dari silika, yang merupakan bahan baku serat optik (SiO_2) (Envall, 2006). Dimana nilai redaman (*optical loss*) atau atenuasi ini merupakan fungsi panjang gelombang (Santoso, 2010).

ILD atau biasa disebut LD (*Laser Diode*) berfungsi mengubah sinyal listrik menjadi gelombang cahaya yang kemudian akan ditransmisikan melalui kabel serat optik. Ketika laser dioda dipompa dengan menggunakan injeksi arus listrik pada sambungan PN semikonduktor maka akan terjadi *population inverse*. Yaitu keadaan dimana populasi pada *excited states* lebih besar daripada populasi pada *ground states*. Hal ini akan memicu terjadinya emisi terstimulasi (*stimulated emission*), dimana perpindahan elektron dari *excited state* menuju *ground state* akan menghasilkan foton (Keiser, 1991).

2.3 Laser Power Meter

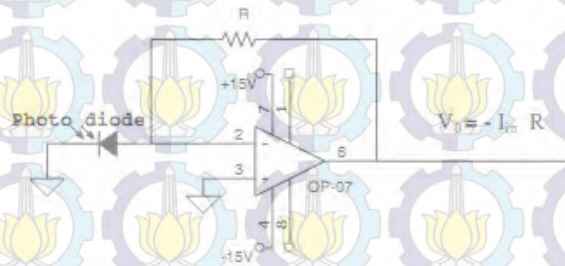
Laser Power Meter dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan detektor yang digunakan, yaitu power meter berbasis termal serta power meter berbasis kuantum. Power meter berbasis termal transduser seperti *thermopile* atau detektor *pyroelectric* memiliki respon yang lambat, mahal, namun memiliki respon spektrum yang datar. Di lain pihak, power meter berbasis kuantum detektor seperti *photomultiplier tubes*, fotokonduktor, serta fotodioda umum digunakan untuk mengukur tingkat daya yang rendah (Krishnan, Bindra, & Oak, 2008).

Prinsip kerja power meter berdasar pada konversi cahaya datang menjadi arus oleh fotodioda serta rangkaian pengubah arus menjadi tegangan (Krishnan et al., 2008). Gambar 2.2 menunjukkan rangkaian dasar dari power meter yang terdiri dari fotodioda dan rangkaian pengubah tegangan (*current to voltage converter*).

Dalam penelitian kali ini, laser power meter akan mengukur daya optis dari input laser dalam satuan dBm (dB miliwatt). dBm merupakan satuan daya optis yang menggunakan nilai 1 mW sebagai referensi. 1 dBm didefinisikan seperti pada persamaan (2.1).

$$power(dBm) = 10 \log_{10} \frac{power}{1mW} \quad (2.1) \text{ (Agrawal, 2002)}$$

Sehingga nilai 1 mW sama dengan 0 dBm, sedangkan 1 μ W sama dengan -30 dBm.

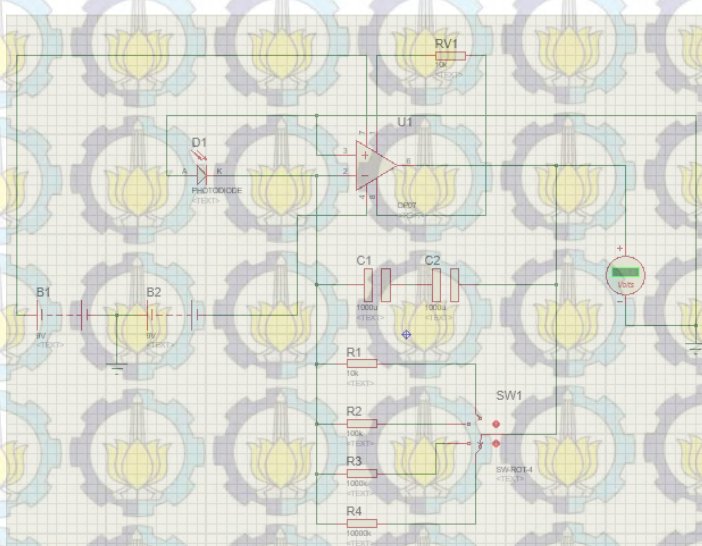


Gambar 2.2 Rangkaian Dasar Power Meter (Krishnan et al., 2008)

Pada laser power meter, arus yang dihasilkan oleh fotodioda diamplifikasi kemudian diubah menjadi tegangan output oleh rangkaian TIA. Tegangan output dari rangkaian TIA (*Transimpedance Amplifier*) kemudian akan diubah menjadi sinyal digital oleh ADC (*Analog to Digital Converter*). Sinyal digital kemudian dibaca oleh program *Optical Power Meter* sebagai nilai daya optis laser.

Pada penelitian sebelumnya (Hanto, 2014), pembacaan daya optis dilakukan oleh program yang telah dibuat dengan menggunakan LabView. Untuk menghubungkan rancangan power meter dengan program LabView dibutuhkan DAQ sebagai penghubung antara rangkaian dan PC yang telah berisi program OPM. Pada penelitian kali ini, fungsi dari DAQ dan program LabView serta PC akan digantikan oleh Arduino dengan *display* berupa LCD. Sehingga diharapkan *low cost multi-wavelength laser power meter* ini akan lebih fleksibel karena tidak perlu terhubung pada PC. Selain itu dengan menggunakan Arduino tidak perlu menambahkan modul ADC seperti pada penggunaan Lab View atau Raspberry Pi karena Arduino telah memiliki modul ADC di dalam rangkaianannya.

Gambar 2.3 menunjukkan skema laser power meter yang dibuat pada penelitian sebelumnya (Hanto, 2014). OPM yang dibuat sebelumnya menggunakan selektor manual dalam menentukan *rentang* pengukuran daya optis laser. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dibuat sistem kontrol guna menggantikan fungsi dari selektor manual tersebut.



Gambar 2.3 Skema OPM (Hanto, 2014)

2.4 Fotodioda

Di akhir saluran transmisi optik harus terdapat suatu alat penerima untuk menginterpretasikan informasi yang terdapat pada sinyal optis, yaitu detektor cahaya (photodetector). Fotodetektor berfungsi sebagai sensor daya luminansi yang jatuh kemudian mengkonversi daya tersebut menjadi arus listrik (Keiser, 1991).

Karena sepanjang saluran transmisi sinyal optik mengalami pelemahan (atenuasi), maka fotodetektor yang digunakan harus memenuhi kriteria tertentu, antara lain sensitivitas yang tinggi pada rentang panjang gelombang sumber cahaya yang digunakan,

penambahan noise pada sistem yang minimum, serta respon yang cepat. Fotodetektor juga harus memiliki ketahanan terhadap perubahan suhu, kompatibel dengan serat optik yang digunakan, harga yang terjangkau, serta waktu pemakaian (*lifetime*) yang lama.

Dari beberapa jenis fotodetektor yang ada, fotodioda merupakan jenis fotodetektor yang paling sesuai digunakan dalam sistem serat optik karena bentuknya yang kecil, bahan yang sesuai, sensitivitas yang tinggi, dan waktu respon yang cepat (Keiser, 1991).

Jika energi hf dari foton yang jatuh pada semikonduktor lebih besar daripada energi bandgap maka pasangan elektron-hole akan terbentuk tiap sebuah foton diserap oleh semikonduktor. Karena efek dari medan listrik yang terbentuk dari tegangan yang diberikan, pasangan elektron-hole akan bergerak sepanjang semikonduktor, menghasilkan aliran arus listrik. Arus listrik (photocurrent) I_p yang dihasilkan proposional dengan daya optis yang diberikan P_{in} , yang dijelaskan sebagai berikut:

$$I_p = R P_{in} \quad (2.2) \text{ (Agrawal, 2002)}$$

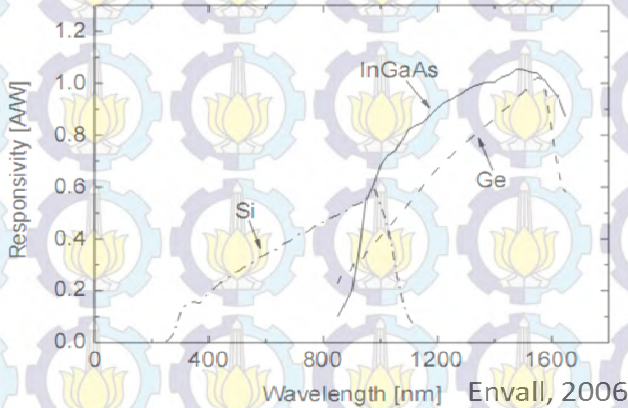
dimana R adalah responsivitas dari fotodioda (A/W).

Pada Tugas Akhir ini digunakan fotodioda FGA01FC yang mempunyai rentang panjang gelombang sebesar 800-1700 nm dan dapat beroperasi pada suhu -40 hingga 75°C (Thorlabs, 2013). Fotodioda ini memiliki konektor dengan tipe FC sehingga sesuai dengan serat optik yang digunakan pada sistem.

Pemilihan bahan fotodioda didasarkan pada tingkat responsivitas fotodioda terhadap panjang gelombang yang digunakan. Dari Gambar 2.4 dapat dilihat bahwa fotodioda yang memiliki responsivitas paling baik pada panjang gelombang 1310 nm dan 1552 nm adalah fotodioda InGaAs.

Fotodioda dipilih sebagai detektor cahaya karena: memiliki linearitas arus output yang tinggi sebagai fungsi intensitas cahaya yang jatuh; responsivitas yang tinggi; noise yang rendah; tahan terhadap tekanan mekanis; murah; kompak; ringan; waktu hidup

yang lama; efisiensi kuantum (perbandingan jumlah pasangan hole-electron yang terjadi dengan jumlah foton yang datang) yang tinggi; serta dapat beroperasi pada tegangan yang rendah (Krishnan et al., 2008).



Gambar 2.4 Responsivitas Fotodioda

Fotodioda dapat dihubungkan secara parallel dengan hambatan sederhana. Ketika cahaya jatuh pada fotodioda, nilai hambatan *shunt* akan turun secara eksponensial. Pada konfigurasi ini, tegangan output bervariasi secara logaritmik dengan cahaya yang masuk (Krishnan et al., 2008)

2.5 Daya Optis

Daya optis (*optical power*) adalah ukuran suatu lensa, cermin, atau sistem optis dapat menangkap cahaya. Pada fotodioda, radiasi optis yang diserap oleh bahan semikonduktor didefinisikan sebagai berikut:

$$P(x) = P_0(1 - e^{-a_s(\lambda)x}) \quad (2.3) \text{ (Keiser, 1991)}$$

Dimana $a_s(\lambda)$ adalah koefisien absorpsi pada panjang gelombang λ , P_0 adalah tingkat daya optis yang jatuh pada

semikonduktor, dan $P(x)$ adalah daya optis yang diserap pada jarak x .

Responsivitas daya dari suatu fotodioda didefinisikan sebagai berikut:

$$R = \frac{I}{P} = \frac{e}{hc} \lambda \quad (2.4) \text{ (Envall, 2006)}$$

Dimana P adalah daya dari radiasi yang jatuh, h adalah konstanta Planck, c adalah kecepatan cahaya, dan λ adalah panjang gelombang, dengan asumsi bahwa semua foton yang jatuh masuk pada daerah deplesi semikonduktor menghasilkan pasangan elektron-hole tiap fotonnya (Envall, 2006).

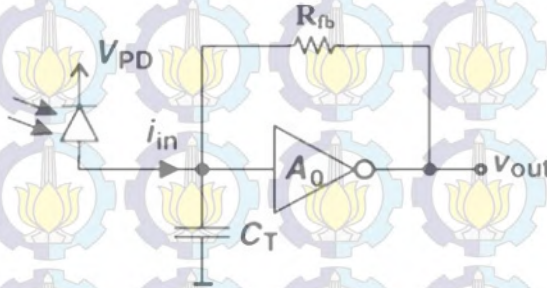
2.6 Transimpedance Amplifier (TIA)

Fotodioda tidak memiliki efek amplifikasi dan mempunyai responsivitas (perbandingan antara arus output dan input intensitas cahaya) yang cukup kecil, contohnya fotodioda silikon mempunyai responsivitas sebesar $\leq 0,5$ A/W pada cahaya dengan panjang gelombang 650 nm. Sehingga kombinasi fotodioda yang diikuti dengan amplifier dibutuhkan pada seluruh aplikasi praktis (Atef & Zimmermann, 2013).

Pada penerima optis, konverter arus ke tegangan dibutuhkan untuk mengkonversi arus (*photocurrent*) yang dihasilkan oleh fotodioda menjadi tegangan output yang proposional dengan input arus. TIA (*Transimpedance Amplifier*) adalah *preamplifier* yang paling sesuai digunakan pada penerima optoelektronis (Atef & Zimmermann, 2013).

Transimpedance Amplifier menawarkan konfigurasi dengan sensitivitas tinggi serta bandwidth yang lebar (Agrawal, 2002). Gambar 2.5 menunjukkan rangkaian dasar dari *Transimpedance Amplifier*. Dapat dilihat bahwa hambatan beban dihubungkan sebagai *resistor feedback* (R_{fb}) pada *inverting amplifier*. Meskipun ketika nilai hambatan beban atau R_{fb} besar, *negative feedback* dari amplifier akan mengurangi impedansi efektif input dengan faktor G , dimana G adalah gain amplifier. Bandwidth

kemudian akan ditingkatkan dengan faktor G . Hal ini tidak diperoleh ketika menggunakan amplifier *high-impedance*.



Gambar 2.5 Rangkaian Dasar TIA (Atef & Zimmermann, 2013)

Persamaan umum dari TIA adalah sebagai berikut:

$$V_{out} = I \times R_{fb} \quad (2.5) \text{ (Tavernier \& Steyaert, 2011)}$$

dengan V_{out} adalah tegangan output rangkaian, I adalah arus dan R_{fb} adalah hambatan feedback.

Rangkaian dasar power meter seperti pada Gambar 1. menggunakan TIA (*Transimpedance Amplifier*) sebagai konverter optis-elektris. TIA sering digunakan dalam jaringan serat optik karena memiliki keunggulan berupa proporsional terhadap masukan optik, bandwidth lebar, impedansi masukan kecil, serta noise yang ditimbulkan kecil. TIA digunakan untuk mengkonversi arus (*photocurrent*) menjadi tegangan. (Atef & Zimmermann, 2013; Hayashi, Saitoh, Shibayama, & Shirahama, 2009).

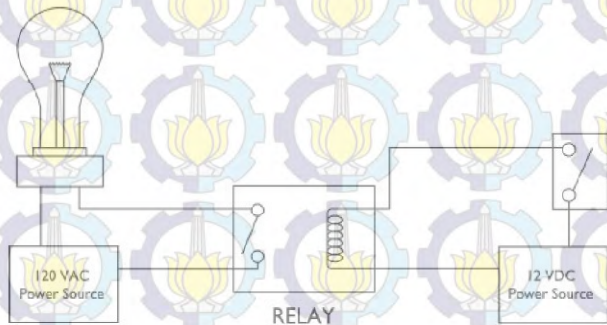
2.7 Relay

Relay merupakan alat yang berguna untuk membuka atau menutup sambungan pada suatu sirkuit seperti halnya saklar. Relay dapat digunakan untuk mengimplementasikan logika switching pada sistem.

Relay terdiri dari coil dan contact. Coil adalah lilitan kawat yang dialiri arus listrik, sedangkan contact adalah sejenis saklar

yang pergerakannya tergantung pada ada atau tidaknya arus pada coil. Ketika arus atau tegangan yang diaplikasikan melebihi nilai threshold, maka coil akan mengaktifkan armature, yang akan beroperasi untuk menutup contact yang terbuka, atau membuka contact yang tertutup.

Ketika coil dialiri arus, akan tercipta gaya elektromagnetis yang akan mengaktifkan mekanisme switch. Gaya elektromagnetis akan menyalurkan aksi dari satu sirkuit ke sirkuit yang lain. Gambar 2.6 menunjukkan contoh aplikasi dasar dari relay. Sirkuit pertama disebut sirkuit kontrol, sedangkan sirkuit kedua disebut sirkuit load (National Plastic Heater Sensor & Control Co., 2000).



Gambar 2.6 Contoh Aplikasi Relay

Terdapat dua jenis *contact*, yaitu NO (*Normally Open*) atau NC (*Normally Closed*). Jenis ini mengindikasikan kondisi *default* relay sebelum diaktifkan. Relay NO memiliki kondisi *default* terbuka/tidak tersambung (*open*), sedangkan relay NC memiliki kondisi *default* tertutup/tersambung (*closed*).

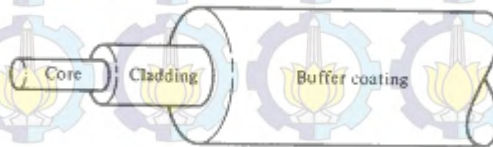
Relay sering digunakan pada aplikasi-aplikasi elektronis karena sifatnya yang sederhana, waktu hidup (*lifetime*) yang lama, serta memiliki realibilitas yang tinggi. Pada rangkaian OPM relay yang digunakan adalah relay HRS2H-S-DC5V yang mempunyai kondisi *default* NO (Multicomp, 2006). Jumlah relay yang digunakan menyesuaikan dengan jumlah variasi *feedback resistor* yang digunakan.

2.8 Serat Optik Moda Tunggal

Serat optik adalah pemandu gelombang dielektris (*dielectric waveguide*) yang beroperasi pada frekuensi optis (Keiser, 1991). Serat yang umumnya berbentuk silinder ini memerangkap energi elektromagnetis dalam bentuk cahaya dan kemudian memandunya dengan arah yang paralel dengan sumbu axis dari serat optik.

Karakteristik struktural dari serat optik mempengaruhi bagaimana suatu sinyal cahaya akan bertransmisi di sepanjang jalurnya. Karakteristik ini juga menentukan kapasitas serat optik dalam membawa sinyal informasi serta respon terhadap panjang gelombang. Sedangkan efisiensi dari serat optik ditentukan oleh tingkat kemurnian dari bahan inti serat optik (Wadhana & Setijono, 2010).

Umumnya serat optik terdiri dari tiga bagian yaitu: *core* (inti), *cladding* (selubung), serta *buffer coating*. Inti dari serat optik umumnya terbuat dari kaca atau plastik (SiO_2). Inti serat optik merupakan jalur dimana cahaya akan merambat. *Cladding* berfungsi untuk mengurangi loss akibat penyebaran cahaya, menambah kekuatan mekanis serat optik, dan mencegah inti menyerap cahaya dari luar serat optik. Sedangkan *buffer coating* yang bersifat elastis berfungsi untuk menambah kekuatan struktur fiber serta mengisolasi (melindungi) serat optik dari permukaan yang tidak rata atau kasar. Gambar 2.7 menunjukkan skema struktural serat optik.



Gambar 2.7 Skema Struktural Serat Optik

Dalam sistem power meter, media transmisi cahaya yang digunakan dari ILD menuju rangkaian OPM adalah *single mode-fiber optic*. Serat optik *single-mode* (SM) memiliki satu jenis

mode propagasi yang sejajar dengan sumbu serat optik. Serat optik SM memiliki diameter *core* yang sangat kecil, umumnya 8-12 μm , serta ukuran *cladding* 125 μm (Keiser, 1991).

Serat optik digunakan dalam sistem sebagai medium perambatan cahaya sehingga dapat mengurangi *loss* cahaya serta *noise* dari pencahayaannya lingkungan. Dalam penelitian sebelumnya oleh D Choudhury (Choudhury, Devi, & Barbara, 2006) dan S Krisnan (Krishnan et al., 2008) digunakan silinder yang dirangkai pada fotodioda untuk mengarahkan cahaya agar tepat jatuh pada permukaan fotodioda. D Choudhury dkk juga menambahkan bahan gelap yang digunakan untuk menyelimuti bagian dalam silinder yang berguna untuk menyerap *noise* dari cahaya lingkungan (Choudhury et al., 2006).

2.9 Arduino

Arduino merupakan kombinasi dari *hardware*, bahasa pemrograman, serta IDE (*Integrated Development Environment*) (Djuandi, 2011) yang bersifat *open-source*. Arduino pertama kali diperkenalkan pada 2005 dengan tujuan untuk mempermudah pembuatan *hardware* dan *software* serta tersedia bagi sebanyak mungkin pengguna. Arduino dapat digunakan pada pembuatan sensor yang sederhana hingga sebagai kontrol fungsi kompleks dari robot (Bell, 2013).

Beberapa kelebihan Arduino adalah sebagai berikut:

1. Harganya terjangkau jika dibandingkan dengan *platform* mikrokontroler yang lain.
2. *Software* Arduino dapat berjalan pada beberapa sistem operasi, seperti Windows, Mac OSX, serta Linux. Dimana mikrokontroler umumnya hanya dapat digunakan pada sistem operasi Windows.
3. *Software* Arduino mudah digunakan bagi pemula, bahkan bagi pengguna tanpa latar belakang di bidang elektronik atau *programming*, namun juga cukup fleksibel untuk digunakan oleh para ahli.

4. *Software* dan *hardware* Arduino bersifat *open-source* sehingga dapat dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Board Arduino dapat membaca input dan mengubahnya menjadi output. Dimana instruksi yang digunakan diprogramkan dengan menggunakan *software* Arduino (IDE). Terdapat beberapa jenis *board* arduino, dalam penelitian ini digunakan *board* Arduino Uno.

Berikut spesifikasi dari Uno Arduino:

1. Prosesor Atmega328
2. 14 pin I/O digital
3. 6 input analog
4. Memori flash 32 KB dan SRAM 2 KB

Nantinya dalam sistem arduino akan menjalankan beberapa fungsi sekaligus, yaitu:

- a. Sebagai ADC

Arus dari fotodiode akan diubah menjadi tegangan analog oleh rangkaian pengubah tegangan. Agar dapat dibaca oleh Arduino tegangan analog tersebut dikonversikan menjadi sinyal digital oleh ADC 10-bit pada Arduino.

- b. Sebagai *autoranging*

Fungsi ini berguna untuk melakukan seleksi *rentang* pengukuran OPM secara otomatis, sehingga pengguna nantinya tidak perlu melakukan penyesuaian *rentang* pengukuran daya optis. Di dalam fungsi *autoranging* ini pula nantinya terdapat persamaan guna mengkonversi tegangan menjadi daya optis

- c. Sebagai output

Arduino nantinya akan berfungsi menampilkan output sistem yaitu berupa daya optis laser pada LCD.

2.10 Analog to Digital Converter (ADC)

ADC berfungsi sebagai konverter sinyal analog menjadi sinyal digital. Pada sistem power meter, ADC berfungsi membaca tegangan analog output dari rangkaian TIA kemudian

mengubahnya menjadi sinyal digital agar dapat diolah oleh Arduino.

ADC pada Arduino Uno memiliki resolusi sebesar 10 bit. Artinya sinyal input dari rangkaian TIA dapat dinyatakan dalam 1023 ($2^{10}-1$) nilai diskrit.

ADC dapat membaca input analog sebesar 0-5 Volt. Karena tegangan referensi yang digunakan adalah 5 Volt (Digi Inc, n.d.) maka setiap bit nilai diskrit mewakili 0,005 V atau 5 mV tegangan analog. Hal ini menunjukkan nilai tegangan analog yang dapat dibaca oleh ADC Arduino adalah 5 mV dan kelipatannya.

2.11 Finite State Machine (FSM)

FSM adalah sebuah metodologi perancangan sistem kontrol yang menggambarkan tingkah laku atau prinsip kerja sistem dengan menggunakan: *state* (keadaan), *event* (kejadian), dan *action* (aksi). Pada suatu waktu sistem akan berada di suatu *state* aktif. Sistem dapat beralih atau bertransisi menuju *state* lain jika mendapat masukan atau *event* tertentu, baik yang berasal dari luar maupun dari dalam sistem sendiri. Transisi ini umumnya diikuti oleh aksi (*action*) yang dilakukan sistem untuk menanggapi masukan yang diterima (Astari, 2011). Contoh penggunaan FSM pada kehidupan sehari-hari dapat dilihat pada mekanisme kerja elevator. Dengan input berupa tombol lantai, sistem kontrol pada mesin elevator akan menentukan apakah elevator akan bergerak naik atau turun.

Kelebihan FSM jika dibandingkan dengan algoritma lainnya antara lain sebagai berikut:

1. Sederhana, sehingga mudah diimplementasikan
2. Respon sistem dapat diprediksi
3. Beban komputasi yang relatif ringan
4. Fleksibel (Astari, 2011)

Gambar 2.8 menunjukkan contoh diagram *state* sederhana dari FSM. Pada diagram tersebut terlihat dua buah *state*, dua input, serta empat aksi output yang berbeda. Ketika sistem diaktifkan, sistem akan bertransisi menuju *State0*. Pada keadaan ini sistem akan menghasilkan *Action1* jika mendapat input berupa

Event0 dan akan menghasilkan *Action2* jika diberi input berupa *Event1* sehingga sistem akan bertransisi menuju *State1*. Saat sistem berada pada *State1* sistem akan berjalan sesuai dengan input yang diberikan, dan seterusnya.



Gambar 2.8 Contoh diagram *state* sederhana (Astari, 2011)

Pada sistem power meter *state* ditunjukkan oleh mode-mode yang berbeda. Pada mode tersebut sistem akan memerintahkan Arduino untuk memberi logika high pada relay tertentu. Hal ini bertujuan untuk memperoleh nilai hambatan sesuai dengan yang dibutuhkan. Karena kombinasi satu atau lebih relay akan menghasilkan nilai hambatan yang berbeda.

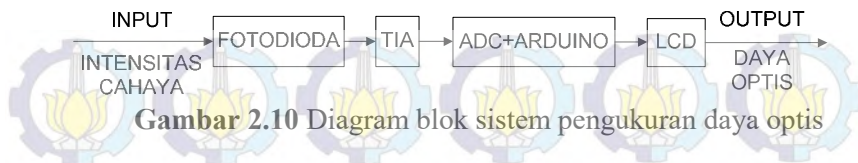
2.12 Sistem Pengukuran

Sistem pengukuran secara umum terdiri dari beberapa elemen atau blok. Struktur umum dari suatu sistem pengukuran dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Struktur Umum Sistem Pengukuran (Bentley, 2005)

Sesuai dengan blok dasar sistem pengukuran yang terdiri dari elemen sensor, elemen pengkondisi sinyal, elemen pemrosesan sinyal serta elemen display (*data presentation*) (Bentley, 2005) maka sistem pengukuran daya optis dengan menggunakan power meter dapat diwakili oleh diagram blok pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Diagram blok sistem pengukuran daya optis

Fotodioda berperan sebagai elemen sensor, TIA sebagai elemen pengkondisi sinyal, ADC dan Arduino sebagai elemen pemrosesan sinyal, serta LCD sebagai elemen display.

Cahaya dari sumber cahaya (laser dioda) ditangkap oleh fotodioda untuk kemudian dirubah menjadi arus (*photocurrent*). Arus kemudian masuk ke TIA (*Transimpedance Amplifier*) dan diubah menjadi tegangan sesuai dengan nilai *feedback resistor* yang terhubung. Konversi arus menjadi tegangan ini bertujuan memudahkan pembacaan sinyal analog oleh ADC. Selain itu TIA juga berfungsi memberikan efek amplifikasi kepada output fotodioda, yaitu arus. Karena seperti yang telah dijelaskan sebelumnya output dari fotodioda terlalu kecil sehingga dibutuhkan amplifier.

Tegangan output dari TIA dibaca oleh ADC untuk kemudian dirubah menjadi sinyal digital. Sinyal digital inilah yang kemudian diproses oleh program yang telah dibuat sebelumnya pada Arduino. Sinyal digital dikonversi menjadi nilai daya optis yang sesuai dengan input dari laser dioda. Kemudian hasil pemrosesan sinyal ditampilkan pada layar LCD.

2.13 Karakteristik Statik Sistem Pengukuran

Akurasi

Akurasi adalah derajat kedekatan pengukuran terhadap nilai sebenarnya (*true value*) (Mutiarra, 2004). Akurasi dapat diwakili dengan nilai Standar Error (SE). SE adalah estimasi kesalahan suatu alat ukur yang dihitung dengan cara membandingkan kinerja alat tersebut dengan alat serupa yang telah terkalibrasi (*validator*). Nilai SE berkisar antara 0-1, dimana nilai SE yang kecil menunjukkan tingkat kesalahan alat ukur yang kecil

(Mangestiyono, 2000). SE dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$SE = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2.6)$$

Dimana S adalah simpangan baku (*standart deviation*) dan n adalah jumlah sampel yang digunakan.

Presisi

Presisi adalah derajat kedekatan kesamaan pengukuran antara satu dengan yang lainnya. Jika hasil pengukuran saling berdekatan (mengumpul) maka dikatakan mempunyai presisi tinggi dan sebaliknya jika hasil pengukuran menyebar maka dikatakan mempunyai presisi rendah (Mutiara, 2004). Ukuran presisi yang sering digunakan adalah standar deviasi. Presisi tinggi memiliki standar deviasi yang kecil, dan sebaliknya (Brown, 1988). Selain itu tingkat presisi (dispersi) juga dapat diwakilkan oleh nilai RSD (*Relative Standard Deviation*). Dimana RSD adalah rasio dari simpangan baku dengan nilai rata-rata pengukuran dan umumnya direpresentasikan dalam bentuk persentase.

Rentang

Rentang output adalah nilai minimum dan nilai maksimum dari output sistem (Bentley, 2005). Pada sistem pengukuran daya optis dengan laser power meter ini, rentang pengukuran yang diperoleh akan berbeda tergantung dengan sumber cahaya yang digunakan. Hal ini dikarenakan desain laser power meter yang terbatas hanya menggunakan enam jenis nilai resistor.

Span

Span output adalah selisih dari nilai output maksimal dan output minimum (Bentley, 2005).

Linearitas

Sebuah elemen pengukuran dikatakan linear jika nilai input dan output yang berhubungan terletak pada satu garis lurus atau memiliki gradien sama dengan 1 (Bentley, 2005).

Histeresis

Sebuah nilai input memiliki kemungkinan untuk menghasilkan nilai output yang berbeda ketika diberikan pada sistem secara bertambah atau berkurang (*increasing or decreasing*). Perbedaan output inilah yang disebut dengan histeresis. Dimana nilai histeresis dinyatakan sebagai berikut:

$$H(I) = O(I) \downarrow - O(I) \uparrow \quad (2.7) \text{ (Bentley, 2005)}$$

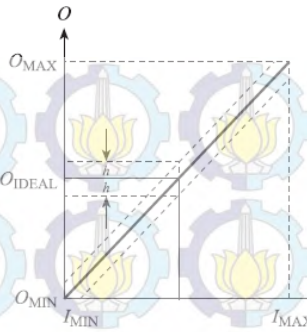
Nilai histeresis yang dicantumkan umumnya merupakan nilai histeresis maksimum dari sistem dalam satuan persen f.s.d (*full scale depletion*):

$$\frac{\hat{H}}{O_{MAX} - O_{MIN}} \times 100\% \quad (2.8) \text{ (Bentley, 2005)}$$

Nilai histeresis digunakan sebagai salah satu indikator dari *repeatability* dari suatu alat. *Repeatability* menggambarkan kedekatan nilai output alat jika diberi input yang sama secara berulang-ulang pada kondisi yang sama. Nilai histeresis yang kecil menunjukkan *repeatability* yang tinggi.

Error

Ketika nilai non-linearitas, histeresis dan resolusi terlampaui kecil sehingga sulit untuk diukur satu persatu, digunakan ukuran error untuk mewakili performansi dari suatu alat. Dimana output suatu sensor/alat/sistem didefinisikan sebagai: $O = O_{IDEAL} \pm h$ dimana h adalah nilai eror. Gambar 2.11 menunjukkan ilustrasi dari *error band*.



Gambar 2.11 *Error bands* (Bentley, 2005)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa tahapan hingga tujuan dapat tercapai. Pengerjaan tugas akhir ini meliputi beberapa tahap yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.



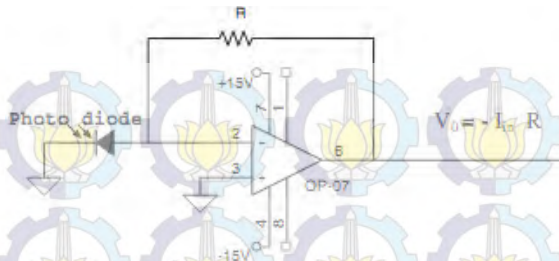


Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Tugas Akhir

3.1 Desain dan Pembuatan Laser Power Meter

3.1.1 Rangkaian Dasar Laser Power Meter

Rangkaian dasar laser power meter terdiri dari detektor cahaya dan rangkaian pengubah tegangan. Dalam tugas akhir ini digunakan detektor cahaya berupa fotodiode serta rangkaian TIA (*Transimpedance Amplifier*) sebagai konverter optis-elektris. Gambar 3.2 menunjukkan skema rangkaian dasar laser power meter.



Gambar 3.2 Rangkaian Dasar Power Meter (Krishnan, Bindra, & Oak, 2008)

Pada rangkaian TIA digunakan beberapa nilai *feedback resistor*, yaitu 100 Ω , 1k Ω , 10k Ω , 100k Ω , 1M Ω , dan 10M Ω yang dihubungkan secara parallel. Resistor-resistor yang digunakan disusun secara parallel untuk menghindari terjadinya nilai saturasi pada saat sistem melakukan transisi dari satu nilai resistor ke resistor yang lain.

Karena dihubungkan secara parallel, terdapat beberapa nilai kombinasi *feedback resistor* yang berbeda ketika resistor-resistor tersebut dihubungkan. Tabel 3.1 menunjukkan nilai kombinasi *feedback resistor*.

Tabel 3.1 Nilai kombinasi *feedback resistor*

No.	Parallel combination	Resistance value (Ω)
1	R6	1,0000,000.00
2	R6 and R5	909,090.91
3	R6, R5, and R4	90,090.09
4	R6, R5, R4, and R3	9,000.90
5	R6, R5, R4, R3, and R2	900.01
6	R6, R5, R4, R3, R2, and R1	90.00

Pada rancangan power meter yang dibuat digunakan OP07 (Analog Devices.Inc, 2011) sebagai op-amp pada rangkaian TIA. OP07 mempunyai delapan pin. Tabel 3.2 menunjukkan konfigurasi pin op-amp.

Tabel 3.2 Konfigurasi Pin Op-Amp

Nomer Pin	Fungsi
1	V_{os}
2	-IN
3	+IN
4	V_-
5	NC
6	Output
7	V_+
8	V_{os}

3.1.2 Rangkaian Relay

Rangkaian relay dibutuhkan untuk menghubungkan resistor-resistor yang dibutuhkan sesuai dengan perintah dari program pada Arduino. Terdapat lima buah relay sejenis yang digunakan. Masing-masing relay dihubungkan pada resistor yang berbeda-beda seperti yang terlihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Konfigurasi relay dan resistor

No	Relay	Hambatan
1	Relay 2	1K Ohm
2	Relay 3	10K Ohm
3	Relay 4	100K Ohm
4	Relay 5	1M Ohm
5	Relay 6	10M Ohm

Karena kondisi *default* dari relay adalah NO, maka ketika tidak diberi perlakuan (relay dalam keadaan tidak aktif), resistor tidak tersambung.

Selain dihubungkan pada resistor, relay juga dihubungkan pada ULN2003A sebagai drift arus. IC Driver (penguat daya) ini dibutuhkan karena daya dari Arduino kurang mencukupi untuk menggerakkan relay.

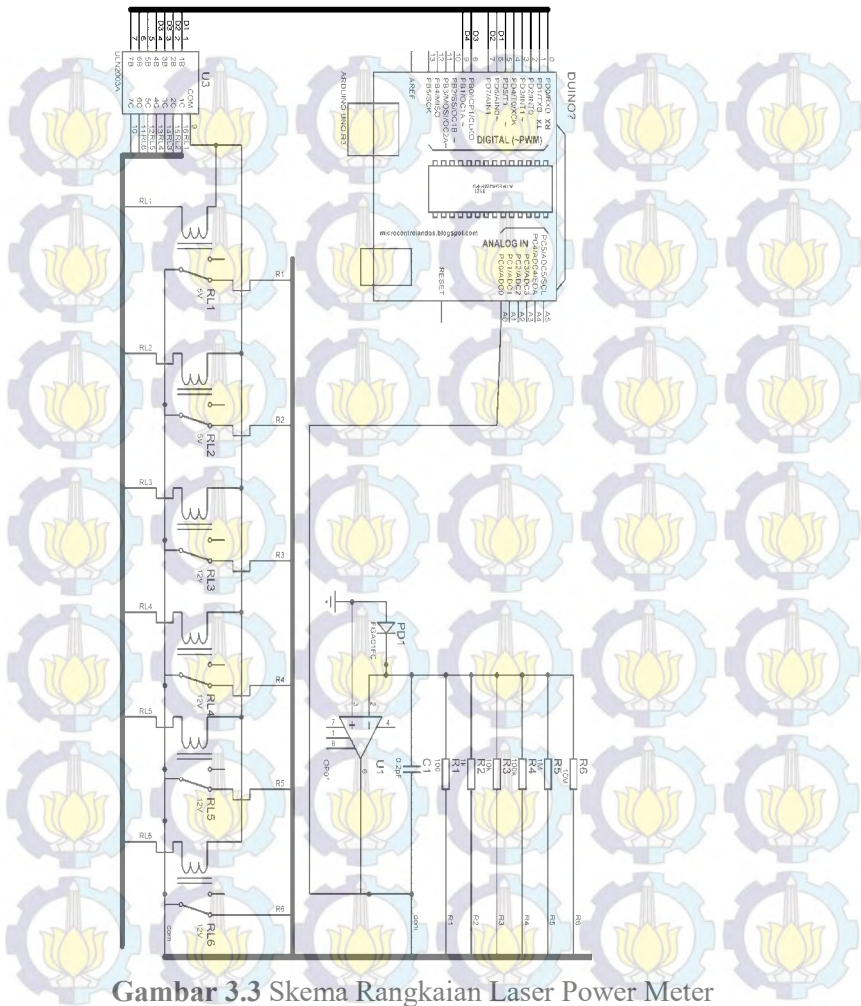
3.1.3 Rangkaian Arduino dan Display

Rangkaian selanjutnya yang perlu dibuat adalah rangkaian Arduino serta display (LCD). Keluaran dari rangkaian TIA dihubungkan pada input analog Arduino agar tegangan output dapat dibaca oleh ADC Arduino. Kemudian untuk menghubungkan display dengan Arduino terdapat beberapa pin yang perlu dihubungkan, seperti terlihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Konfigurasi Pin LCD

Pin LCD	Pin Arduino
RS	Pin digital 12
Enable	Pin digital 11
D4	Pin digital 5
D5	Pin digital 4
D6	Pin digital 3
D7	Pin digital 2
RW, Gnd	Ground
Vcc	5V

Gambar 3.3 menunjukkan skema rangkaian TIA, relay serta Arduino yang telah dihubungkan.



Gambar 3.3 Skema Rangkaian Laser Power Meter

3.2 Pembuatan Database sebagai Acuan Laser Power Meter

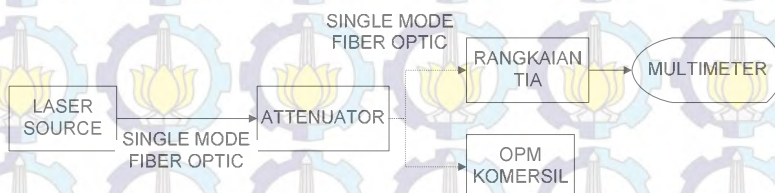
Setelah rangkaian laser power meter selesai dibuat, perlu dilakukan karakterisasi guna mengetahui karakter dari cahaya yang akan diukur. Data karakterisasi cahaya nantinya akan digunakan sebagai *database* dalam pengukuran daya optis.

Karakterisasi cahaya dilakukan melalui dua tahap, yaitu karakterisasi tegangan output serta karakterisasi nilai daya optis.

Karakterisasi tegangan output dilakukan guna mengetahui tegangan output yang dihasilkan oleh rangkaian ketika diberi perlakuan input yang berbeda. Untuk memperoleh variasi input digunakan attenuator HP 8156A (Agilent Technologies, 2001). Ouput dari laser dioda dihubungkan dengan serat optik SM menuju ke attenuator. Ouput dari attenuator kemudian masuk ke fotodioda dan rangkaian TIA. Tegangan output dari rangkaian TIA diukur dengan menggunakan multimeter. Proses ini dilakukan untuk setiap nilai resistor yang digunakan serta dengan variasi atenuasi sebesar 0-50 dB.

Karakterisasi kedua adalah karakterisasi nilai daya optis. Ouput dari attenuator diukur dengan menggunakan OPM ML9002A (Anritsu, n.d.). Variasi atenuasi yang diberikan sama dengan karakterisasi sebelumnya, yaitu 0-50 dB. Skema karakterisasi dapat dilihat pada Gambar 3.4.

Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan dua sumber cahaya yang berbeda, yaitu laser dengan panjang gelombang 1310 nm dan 1552 nm. Dari proses karakterisasi yang telah dilakukan diperoleh hubungan antara tegangan output dan daya optis.



Gambar 3.4 Skema Karakterisasi Rancangan Laser Power Meter

3.3 Desain dan Pembuatan Program Laser Power Meter pada Arduino

Hasil karakterisasi yang telah diperoleh kemudian digunakan sebagai data acuan untuk membuat program laser power meter.

Algoritma yang diterapkan pada Arduino adalah FSM (*Finite State Machine*). FSM bekerja dengan membagi keseluruhan

sistem menjadi beberapa mode (*state*). Mode saat ini (*current state*) akan berubah/bertransisi menjadi mode selanjutnya (*next state*) ketika diberi input tertentu. Salah satu mode digunakan sebagai mode *default* ketika sistem baru diaktifkan (belum ada input).

FSM ini juga berguna sebagai *autoranging* pada sistem. FSM akan memilih mode mana yang paling sesuai untuk mengukur suatu nilai input berdasarkan range pengukuran daya optis. Selain fungsi *autoranging* perlu didefinisikan juga program konfigurasi display agar hasil pengukuran dapat ditampilkan di LCD.

Pada Tabel 3.5 terdapat penjelasan konfigurasi pada masing-masing mode yang digunakan, dimana pada tiap-tiap mode terdapat perintah untuk memberikan logika *high* pada relay-relay tertentu.

Tabel 3.5 Mode pada FSM

Mode	Relay (High)
2	Relay 2, Relay 3, Relay 4, Relay 5, Relay 6
3	Relay 3, Relay 4, Relay 5, Relay 6
4	Relay 4, Relay 5, Relay 6
5	Relay 5, Relay 6
6	Relay 6

Mode-mode ini juga menunjukkan range pengukuran daya optis sesuai dengan sumber cahaya yang digunakan.

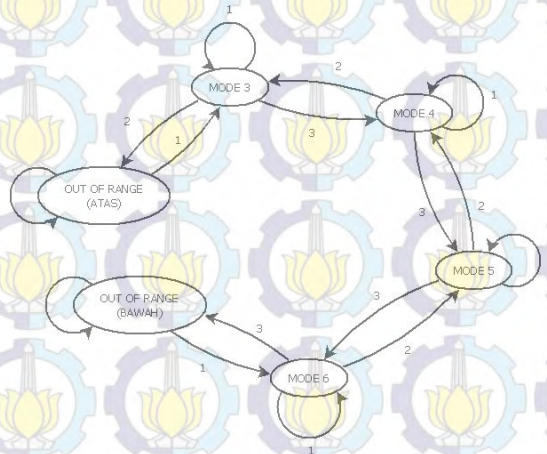
Sedangkan masukan atau *event* yang digunakan untuk berpindah dari satu mode ke mode lain adalah input tegangan analog yang dibaca oleh Arduino, seperti terlihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Masukan pada FSM

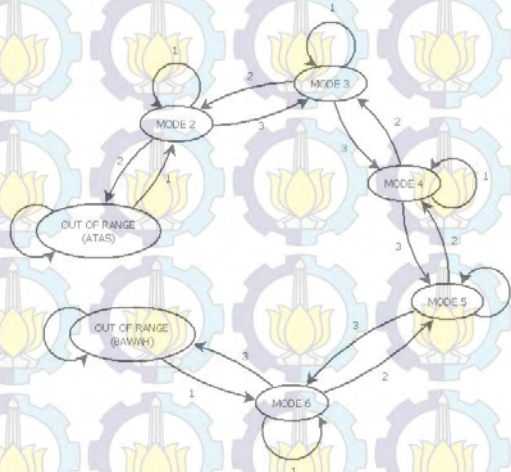
Input	Keterangan
1	$0,4 \leq \text{Voltase} < 4,9$
2	$\text{Voltase} > 4,9$
3	$\text{Voltase} < 0,4$

Masing-masing input akan menghasilkan aksi yang berbeda sesuai dengan mode (*state*) yang sedang aktif.

Gambar 3.5 dan 3.6 menunjukkan skema FSM yang diterapkan pada Arduino.



Gambar 3.5 Skema FSM pengukuran laser 1310 nm



Gambar 3.6 Skema FSM pengukuran laser 1552 nm

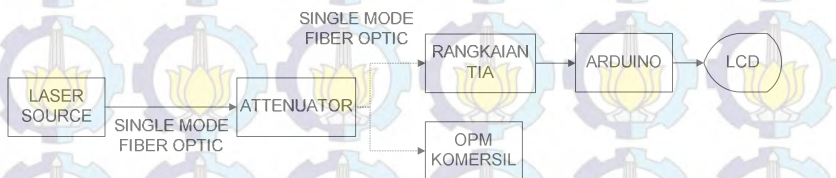
Pada Gambar 3.5 terdapat empat buah mode yang digunakan pada FSM, serta dua buah mode *out of range*. Mode *default* pada

sistem ialah mode 3, dimana mode ini akan aktif ketika sistem pertama kali dinyalakan. Sedangkan pada Gambar 3.6. mode *default* dari sistem adalah mode 2.

Ketika sistem memperoleh input dari ADC, program akan membaca input tersebut, apakah termasuk kategori 1, 2, atau 3. Langkah selanjutnya yang akan dilakukan oleh sistem mengacu pada input serta mode yang sedang aktif. Misalnya, seperti terlihat pada Gambar 3.5, jika mode yang sedang aktif adalah mode 3, dan sistem mendapat masukan kategori 3, maka sistem akan berpindah menuju mode 4. Namun jika input yang masuk merupakan kategori 2, maka sistem akan berpindah menuju mode *out of range*. Mode ini menunjukkan bahwa nilai daya optis yang diukur berada di luar range pengukuran daya optis yang dimiliki oleh sistem. Sedangkan jika input yang masuk merupakan kategori 1, maka sistem akan tetap berada pada mode 3, dan akan melakukan perhitungan daya optis.

3.4 Validasi Sistem Pengukuran Daya Optis

Program yang telah dibuat kemudian diterapkan pada rancangan laser power meter dan diuji untuk mengukur daya optis laser 1310 nm dan 1552 nm. Hasil pengujian dibandingkan dengan power meter komersil sebagai validasi. Jika sistem yang dibuat menghasilkan eror antara kurang dari 10% maka sistem terbukti dapat digunakan sebagai alat ukur daya optis. Gambar 3.7 menunjukkan skema proses validasi rancangan laser power meter.



Gambar 3.7 Skema Validasi Sistem Pengukuran Daya Optis

3.5 Rincian Biaya Pembuatan Laser Power Meter

Tabel 3.5 menunjukkan perkiraan rincian biaya yang diperlukan dalam perancangan laser power meter.

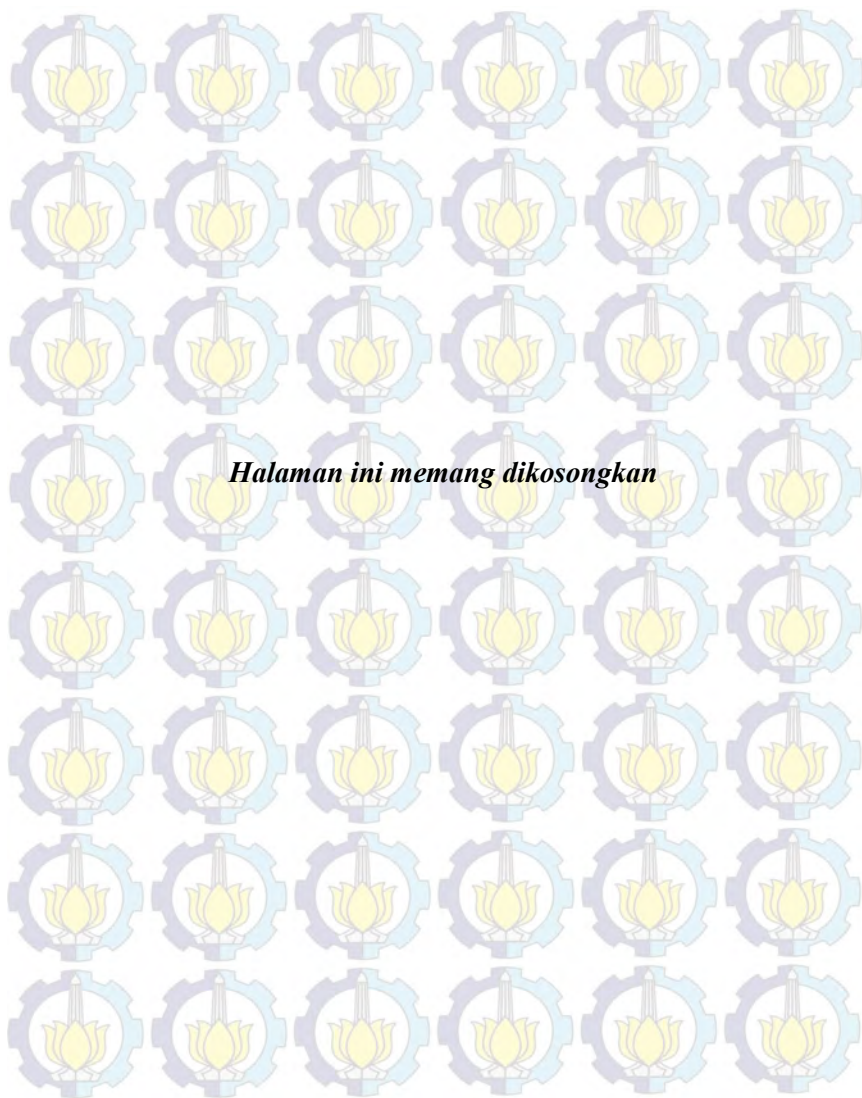
Tabel 3.5 Rincian Perkiraan Biaya Pembuatan Power Meter

No	Jenis	Harga Satuan	Jumlah	Total
1	Arduino Uno	Rp 120000	1	Rp 120000
2	PCB (8cmx18 cm)	Rp 5000	1	Rp 5000
3	Fotodioda (FC connector)	Rp 50000	1	Rp 50000
4	Resistor ½ Watt	Rp 50	6	Rp 300
5	Kapasitor	Rp 4000	2	Rp 8000
6	Relay	Rp 9000	6	Rp 54000
7	ULN2003A	Rp 2500	1	Rp 2500
8	OP07	Rp 12000	1	Rp 12000
9	<i>Voltage Regulator</i>	Rp 5000	3	Rp 15000
10	Adaptor 12 Volt	Rp 50000	1	Rp 50000
Total				Rp 316800

(Sumber: www.duniaelektro.com Data Per November 2015)

3.6 Analisa dan Pembahasan

Dengan data yang diperoleh dari keseluruhan proses dilakukan analisa untuk mengetahui pengaruh penggunaan nilai resistansi terhadap range pengukuran daya optis yang diperoleh serta pengaruh penggunaan sumber cahaya terhadap pengukuran daya optis.



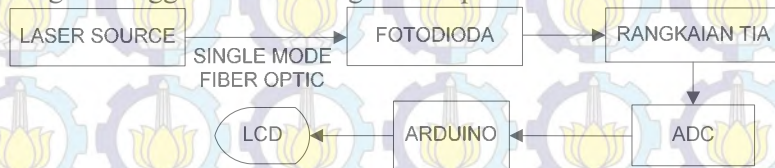
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas hasil yang telah didapatkan berdasarkan metodologi penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

4.1 Hasil Perancangan Laser Power Meter

Berdasarkan prosedur perancangan yang telah dilakukan, sistem pengukuran daya optis dengan menggunakan rancangan laser power meter meliputi pembangkitan laser sebagai sumber cahaya, kemudian melalui serat optis SM cahaya diteruskan ke fotodioda dan rangkaian TIA. Terakhir, output dari rangkaian TIA masuk ke Arduino untuk diproses dan ditampilkan pada LCD. Gambar 4.1 menunjukkan skema pengukuran daya optis dengan menggunakan rancangan laser power meter.



Gambar 4.1 *Set-up* Sistem Pengukuran Daya Optis

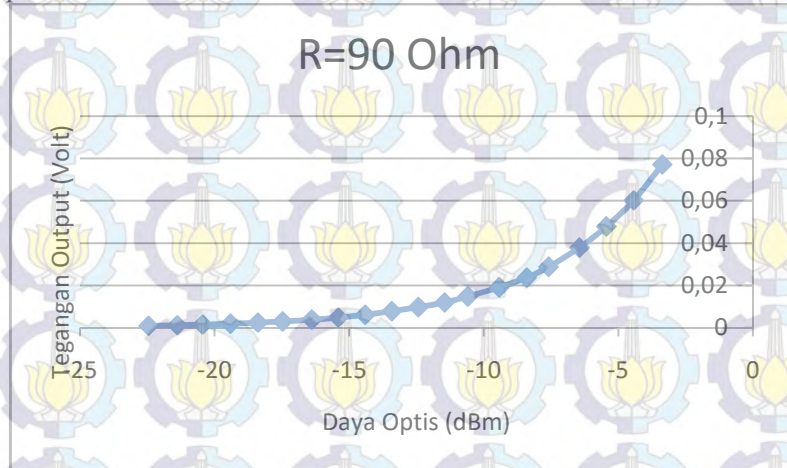
4.2 Hasil Karakterisasi Cahaya untuk Pembuatan Database

Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan dua sumber cahaya yang berbeda, yaitu laser dengan panjang gelombang 1310 nm dan 1552 nm. Pada laser 1310 nm, daya input dipertahankan pada 0 dBm, sedangkan pada laser 1552 dipertahankan pada 5 dBm. Sebelum masuk ke laser power meter untuk dikarakterisasi, cahaya dari laser mendapat atenuasi sebesar 0-50 dBm dari attenuator. Atenuasi berguna sebagai variasi input.

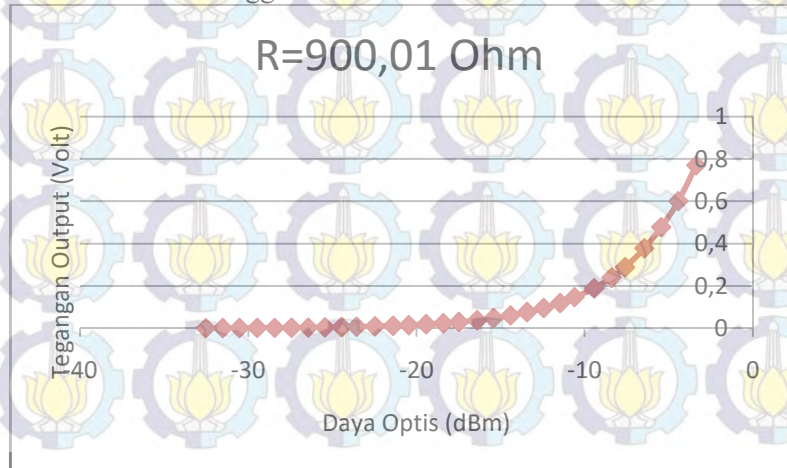
Untuk setiap sumber cahaya dilakukan karakterisasi tegangan output serta daya optis output untuk penggunaan nilai *feedback resistor* yang berbeda.

Gambar 4.2 hingga 4.7 menunjukkan grafik hasil karakterisasi dengan menggunakan laser 1310 nm. Dimana grafik

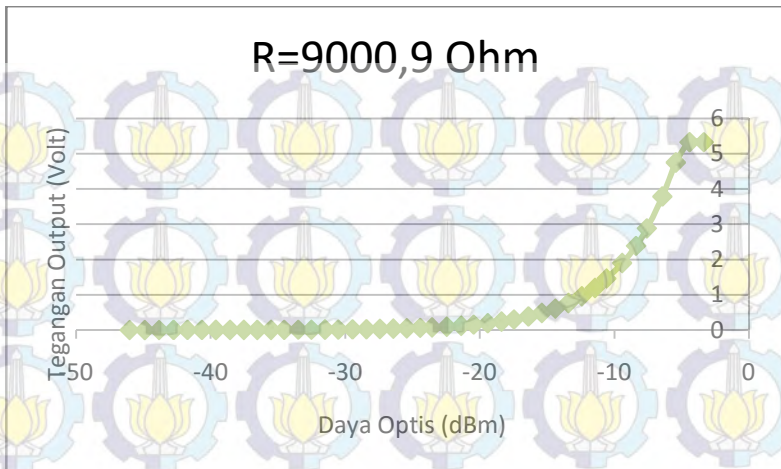
tersebut menggambarkan hubungan antara daya optis dan tegangan output dengan penggunaan nilai *feedback* resistor tertentu. Keenam grafik tersebut kemudian dimerger untuk mengetahui sebaran range pengukuran daya optis seperti terlihat pada Gambar 4.8.



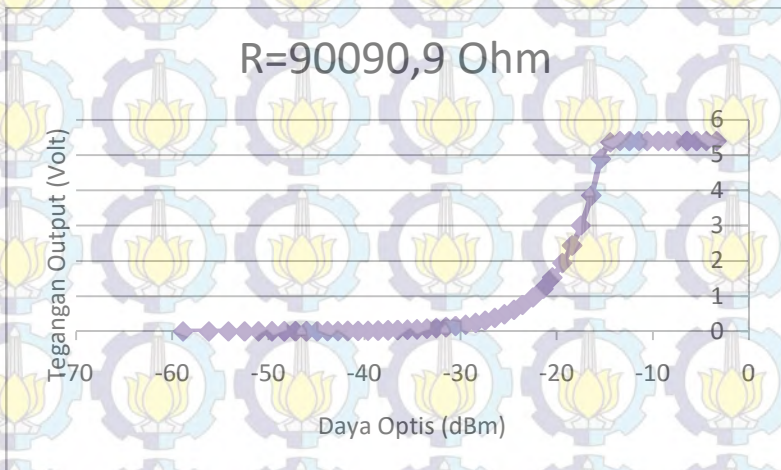
Gambar 4.2 Grafik Karakterisasi Laser 1310 nm dengan menggunakan R=90 Ohm



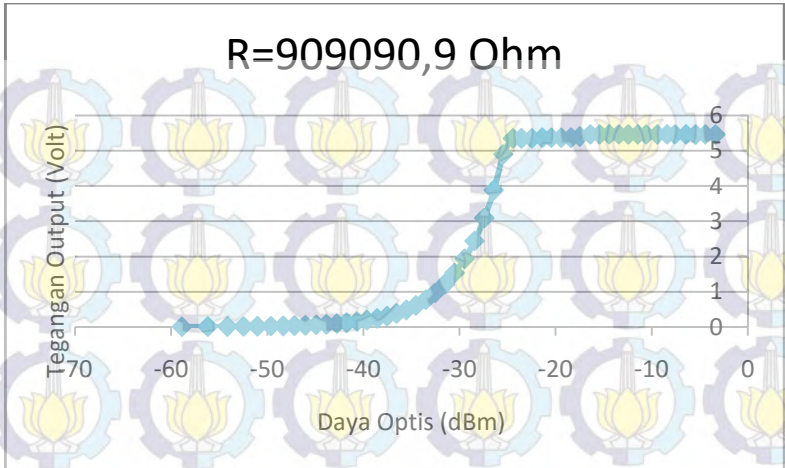
Gambar 4.3 Grafik Karakterisasi Laser 1310 nm dengan menggunakan R=900,01 Ohm



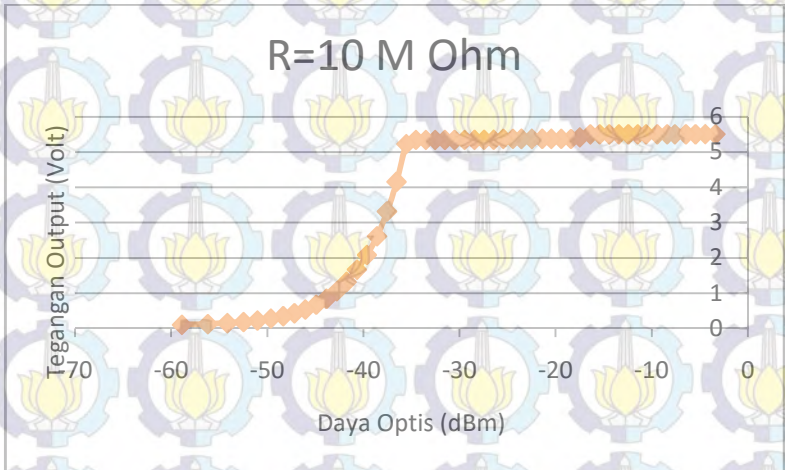
Gambar 4.4 Grafik Karakterisasi Laser 1310 nm dengan menggunakan $R=9000,9 \text{ Ohm}$



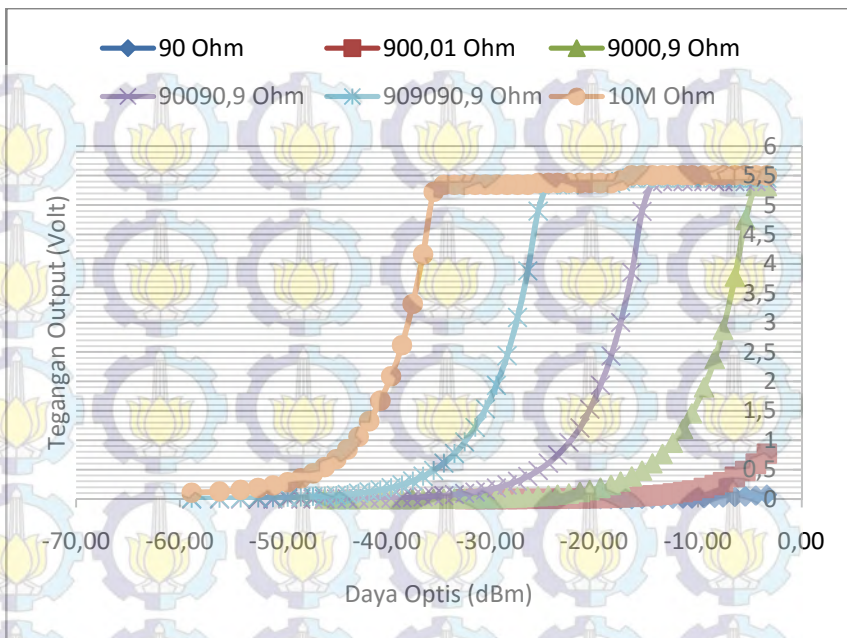
Gambar 4.5 Grafik Karakterisasi Laser 1310 nm dengan menggunakan $R=90090,9 \text{ Ohm}$



Gambar 4.6 Grafik Karakterisasi Laser 1310 nm dengan menggunakan $R=909090,9 \text{ Ohm}$



Gambar 4.7 Grafik Karakterisasi Laser 1310 nm dengan menggunakan $R=10 \text{ M Ohm}$



Gambar 4.8 Hasil Karakterisasi Pengukuran Daya Optis dengan Menggunakan Laser 1310 nm

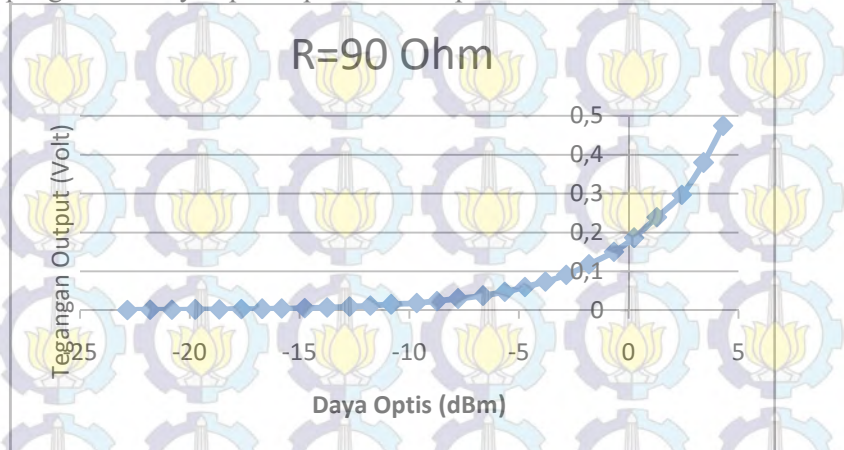
Dapat dilihat pada Gambar 4.2 hingga 4.7 pengukuran tegangan output mencapai nilai saturasi pada tegangan 0 dan 5 Volt. Pada nilai saturasi, pemberian input daya yang berbeda tidak memberikan efek pada tegangan output. Nilai tegangan saturasi disebabkan oleh penggunaan op-amp, dimana tegangan saturasi adalah tegangan output maksimum dari op-amp.

Selain itu, pada Gambar 4.2 dan 4.3 dapat dilihat bahwa penggunaan *feedback resistor* bernilai 90 dan 900,01 Ohm menghasilkan tegangan output yang sangat kecil, yakni di bawah 1 Volt.

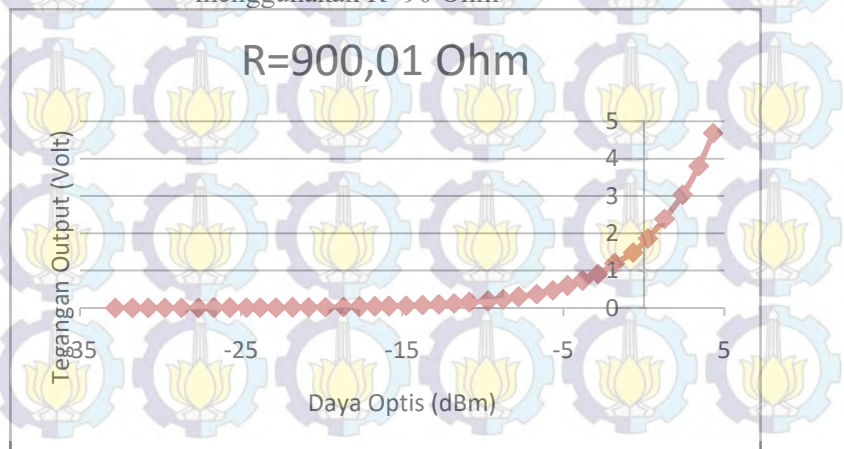
Oleh karena itu, pada sistem pengukuran daya optis laser 1310 nm, nilai *feedback resistor* yang dapat digunakan hanya 9000,9; 90090,9; 909090,0; dan 10 M Ohm. Sehingga diperoleh

range pengukuran daya optis sebesar -45 s/d -5 dBm yang terbagi menjadi empat range kecil dengan span daya optis 10 dBm.

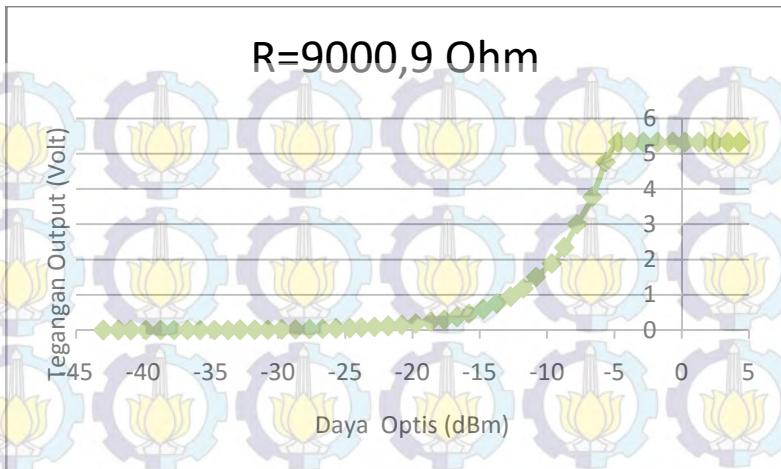
Gambar 4.9 hingga 4.14 menunjukkan grafik hasil karakterisasi dengan menggunakan laser 1552 nm. Keenam grafik tersebut kemudian dimenger untuk mengetahui sebaran range pengukuran daya optis seperti terlihat pada Gambar 4.15.



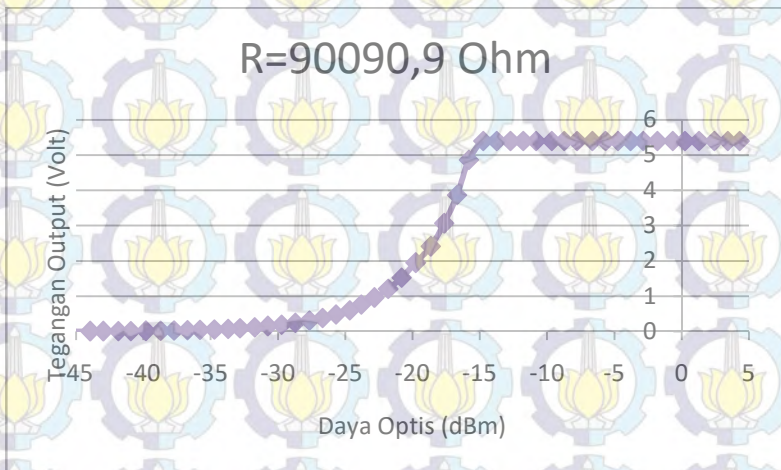
Gambar 4.9 Grafik Karakterisasi Laser 1552 nm dengan menggunakan $R=90$ Ohm



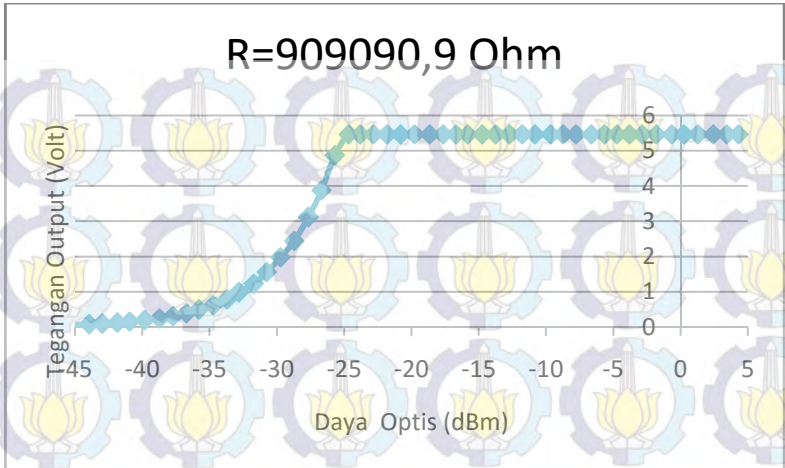
Gambar 4.10 Grafik Karakterisasi Laser 1552 nm dengan menggunakan $R=900,01$ Ohm



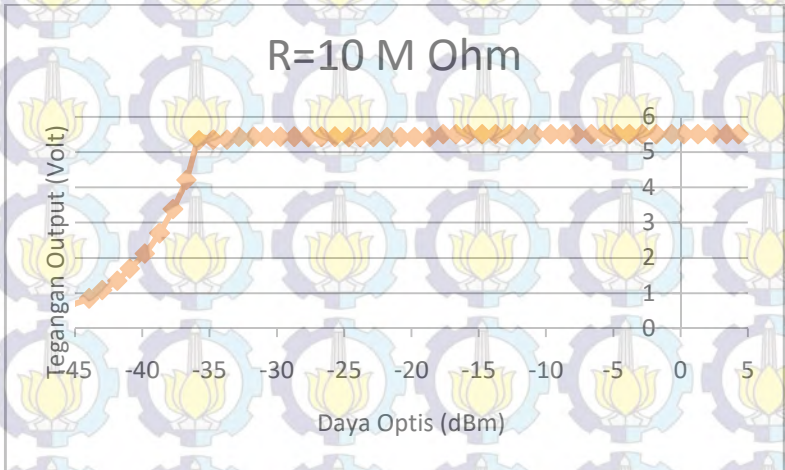
Gambar 4.11 Grafik Karakterisasi Laser 1552 nm dengan menggunakan $R=9000,9 \text{ Ohm}$



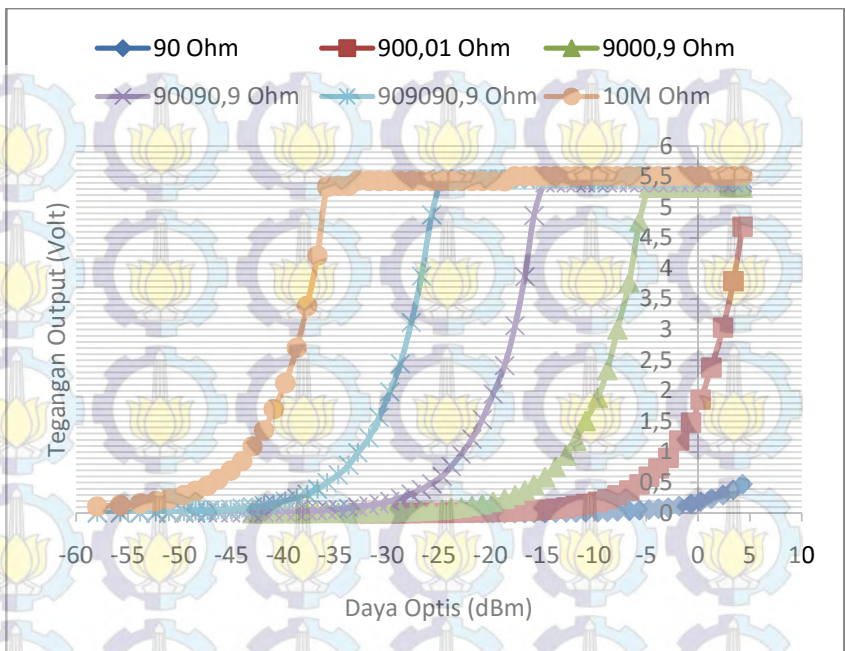
Gambar 4.12 Grafik Karakterisasi Laser 1552 nm dengan menggunakan $R=90090,9 \text{ Ohm}$



Gambar 4.13 Grafik Karakterisasi Laser 1552 nm dengan menggunakan $R=909090,9 \text{ Ohm}$



Gambar 4.14 Grafik Karakterisasi Laser 1552 nm dengan menggunakan $R=10 \text{ M Ohm}$



Gambar 4.15 Hasil Karakterisasi Pengukuran Daya Optis dengan Menggunakan Laser 1552 nm

Dapat dilihat pada Gambar 4.9 hingga 4.14 pengukuran tegangan output mencapai nilai saturasi pada tegangan 0 dan 5 Volt. Pada nilai saturasi, pemberian input daya yang berbeda tidak memberikan efek pada tegangan output. Selain itu, penggunaan nilai *feedback resistor* 90 Ohm menghasilkan tegangan output yang sangat kecil, seperti terlihat pada Gambar 4.9, yakni di bawah 1 Volt.

Oleh karena itu, pada sistem pengukuran daya optis laser 1552 nm, semua nilai *feedback resistor* dapat digunakan kecuali 90 Ohm. Dari tiap range pengukuran daya optis yang diperoleh dengan menggunakan nilai *feedback resistor* yang berbeda kemudian dipotong, daerah yang digunakan adalah daerah yang belum mencapai nilai saturasi. Sehingga diperoleh range

pengukuran daya optis sebesar 5 s/d -5 dBm yang terbagi menjadi lima range kecil dengan span daya optis 10 dBm.

Pembagian daerah pengukuran didasarkan pada nilai saturasi yang dicapai oleh sistem yaitu pada 0 Volt dan 5 Volt. Hal ini juga didasarkan pada kemampuan pembacaan input oleh ADC yaitu 0-5 Volt.

Untuk memperoleh persamaan daya optis berdasarkan tegangan output, daerah yang telah dipotong kemudian dibuat grafik dengan daya optis sebagai fungsi y dan tegangan output sebagai fungsi x .

Persamaan daya optis diperoleh dengan menggunakan *trendline*. *Trendline* berfungsi menganalisa arah (*trend*) dari suatu kelompok data pada grafik. Berikut merupakan persamaan yang diperoleh dari setiap daerah pengukuran:

Tabel 4.1 Persamaan Daya Optis berdasarkan Tegangan Output

Sumber Cahaya	Daerah Pengukuran	Persamaan
Laser 1310 nm	-5 s/d -15 dBm	$y = 4,368\ln(x) - 12,23$
	-15 s/d -25 dBm	$y = 4,359\ln(x) - 22,28$
	-25 s/d -35 dBm	$y = 4,382\ln(x) - 32,37$
	-35 s/d -45 dBm	$y = 4,699\ln(x) - 43,12$
Laser 1552 nm	5 s/d -5 dBm	$y = 4,360\ln(x) - 2,441$
	-5 s/d -15 dBm	$y = 4,368\ln(x) - 12,49$
	-15 s/d -25 dBm	$y = 4,327\ln(x) - 22,59$
	-25 s/d -35 dBm	$y = 4,402\ln(x) - 32,68$
	-35 s/d -45 dBm	$y = 4,762\ln(x) - 43,45$

Dari Gambar 4.8 dan 4.15 dapat dilihat bahwa semakin kecil nilai *feedback resistor* yang digunakan, maka semakin besar nilai daya optis yang bisa diukur oleh laser power meter, dan sebaliknya. Untuk memperlebar range pengukuran daya optis laser power meter, dapat dilakukan dengan menambah nilai resistor yang lebih besar yang berguna untuk mengukur sinyal optis yang rendah. Namun, penggunaan nilai resistor yang besar

untuk mengukur sinyal optis yang besar akan menyebabkan saturasi. Oleh karena itulah dibutuhkan sistem *autoranging*.

4.3 Pemrosesan Sinyal pada Laser Power Meter

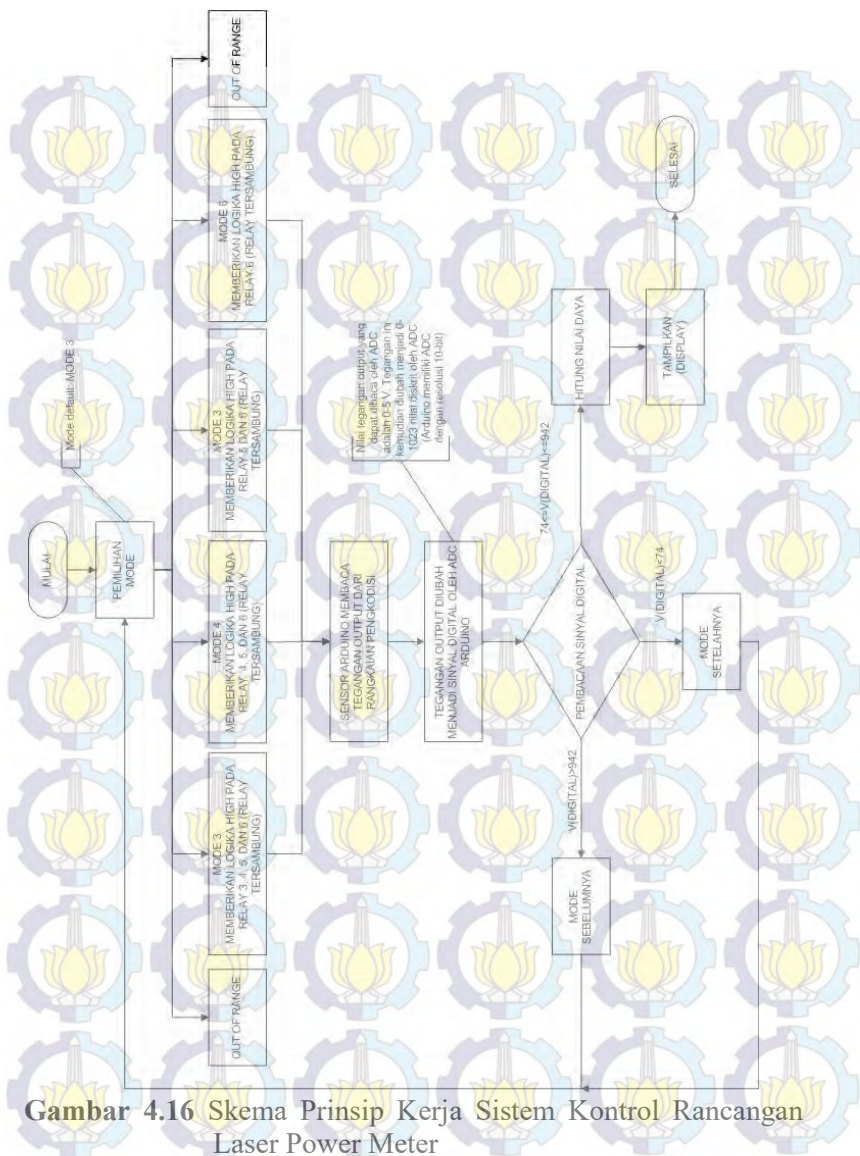
Persamaan yang diperoleh dari proses karakterisasi cahaya digunakan sebagai persamaan konversi tegangan output menjadi daya optis pada Arduino.

Secara sederhana, sistem bekerja dengan melakukan perulangan (*looping*) hingga menemukan daerah pengukuran yang sesuai, baru kemudian dilakukan perhitungan daya dan menampilkannya pada display (LCD).

Prinsip kerja pemrosesan sinyal pada Arduino adalah sebagai berikut:

1. Ketika sistem dinyalakan, sistem akan mengaktifkan mode *default*.
2. Sensor pada Arduino akan membaca nilai tegangan output rangkaian TIA.
3. Nilai tegangan output dikonversi menjadi nilai diskrit (sinyal digital) oleh ADC.
4. Ketika sinyal digital yang dibaca berada pada daerah pengukuran, maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (Tabel 1) sehingga diperoleh nilai daya optis. Nilai daya optis ditampilkan pada LCD
5. Sedangkan jika sinyal digital berada di nilai saturasi (di luar daerah pengukuran), maka sistem akan mencari mode lain pada sistem hingga menemukan mode yang paling sesuai untuk melakukan perhitungan daya optis.
6. Ketika tidak terdapat mode yang dapat mewakili nilai yang diukur, maka sistem akan masuk mode *Out of range*

Gambar 4 menunjukkan skema prinsip kerja pemrosesan sinyal pada Arduino.

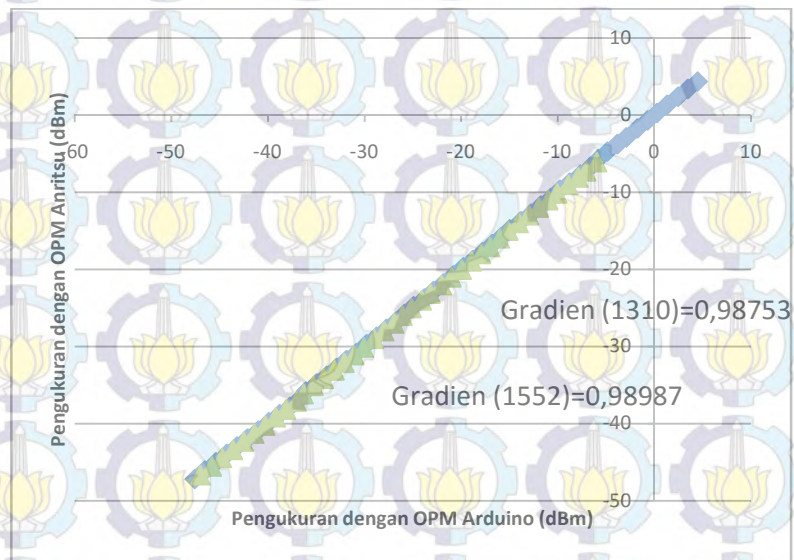


Gambar 4.16 Skema Prinsip Kerja Sistem Kontrol Rancangan Laser Power Meter

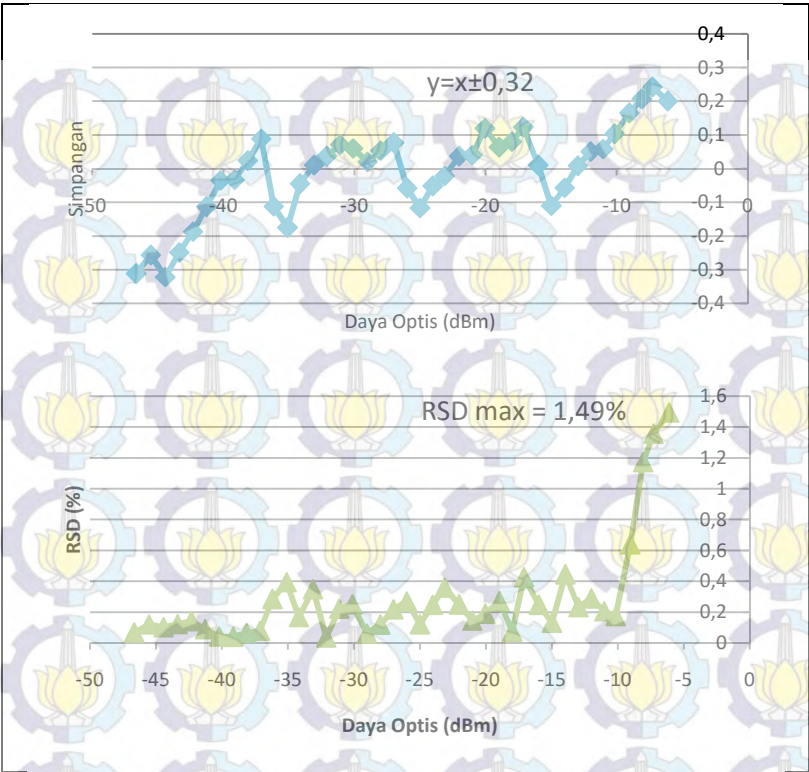
4.4 Validasi Rangkaian Laser Power Meter

Setelah program Arduino selesai dibuat, perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui kehandalan rancangan laser power meter untuk mengukur daya optis sumber cahaya yang digunakan, yaitu laser 1310 nm dan 1552 nm.

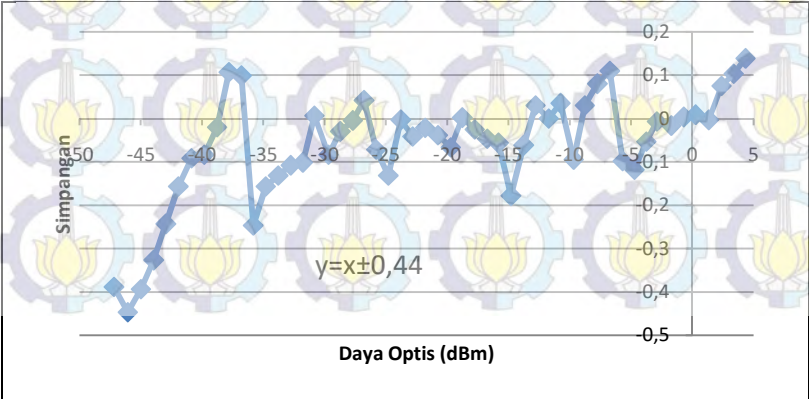
Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 menunjukkan tingkat linieritas dari laser power meter. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa hasil pengukuran daya optis dengan menggunakan laser power meter memiliki nilai yang mendekati hasil pengukuran dengan menggunakan power meter Anritsu. Hal ini ditunjukkan dengan gradien grafik yang mendekati nilai 1 (satu), yaitu 0,98753 untuk pengukuran laser 1310 nm dan 0,98987 untuk pengukuran laser 1552 nm.

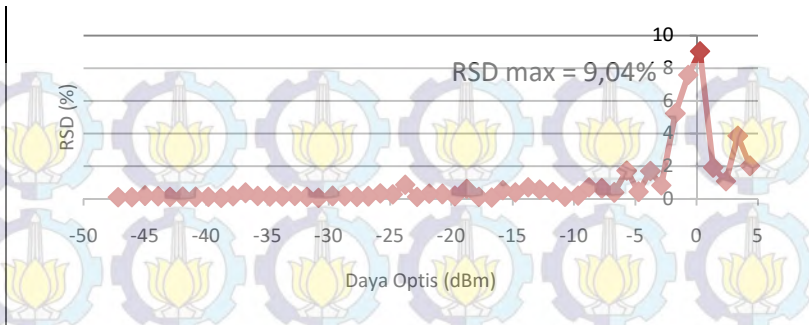


Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Pengukuran Daya Optis Laser 1310 nm dan 1552 nm dengan Menggunakan OPM Komersil dan OPM Arduino



Gambar 4.18 Pengukuran Daya Optis Laser 1310 nm





Gambar 4.19 Pengukuran Daya Optis Laser 1552 nm

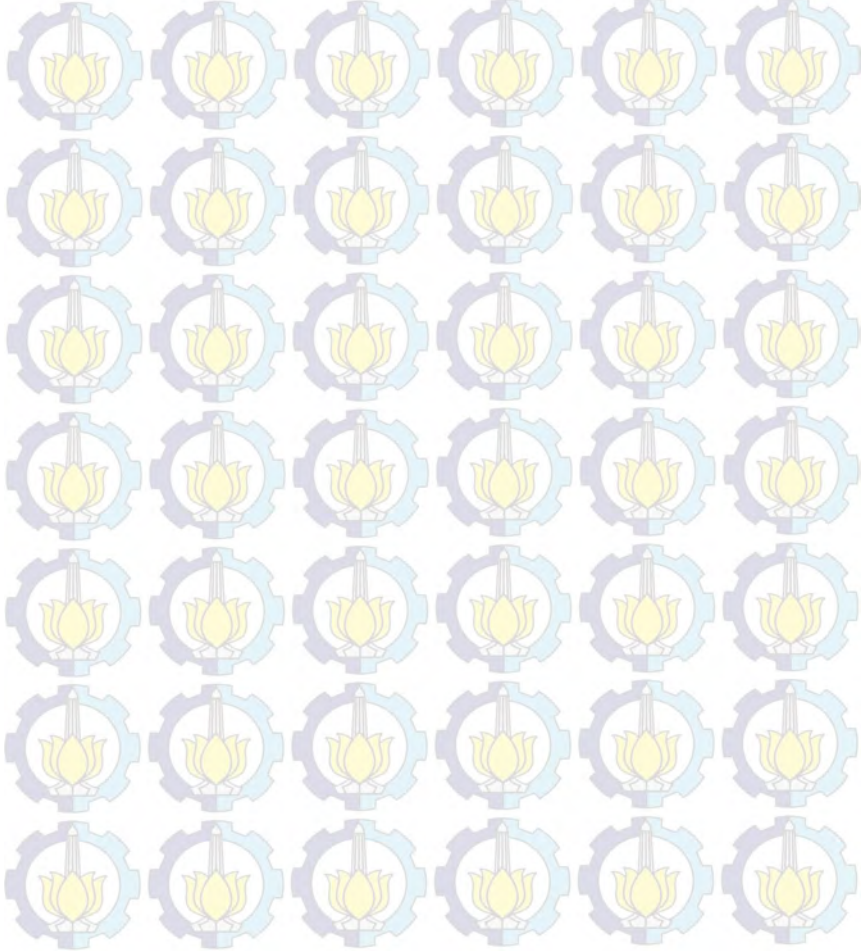
Gambar 4.18 menunjukkan hasil pengukuran daya optis dengan menggunakan laser 1310 nm. Sedangkan Gambar 4.19 menunjukkan hasil pengukuran daya optis dengan menggunakan laser 1552 nm. Dari grafik dapat dilihat nilai simpangan baku berada di bawah 0,25 baik pada laser 1310 nm maupun laser 1552 nm. Simpangan baku yang bernilai kecil menunjukkan presisi sistem yang tinggi. Nilai RSD maksimum yang diperoleh pada pengukuran laser 1330 nm adalah 1,49% sedangkan pada laser 1552 nm adalah 9,04% dimana masih dalam batas toleransi yaitu 10%.

Kemampuan laser power meter untuk menghasilkan output yang sama ketika diberi input yang sama (*repeatability*) ditunjukkan oleh nilai histeresis, dimana makin kecil histeresis, maka makin tinggi *repeatability* alat. Derajat *repeatability* digunakan sebagai alternatif penentuan tingkat kepresisian alat ukur. Nilai histeresis maksimum dalam persen FSD untuk laser 1310 nm adalah 0,925%, sedangkan pada laser 1552 nm adalah 0,556%.

Nilai simpangan pengukuran terhadap nilai sebenarnya (*true value*) juga dapat dilihat pada Gambar 4.18 dan 4.19. Dari kedua grafik diketahui nilai simpangan pengukuran daya optis dari laser 1310 nm dan 1552 nm sangat kecil yaitu kurang dari 0,3. Nilai simpangan yang kecil menunjukkan tingkat akurasi sistem yang tinggi. Selain itu, nilai akurasi dapat ditentukan dengan menghitung nilai Standar Error. Dari perhitungan diperoleh nilai

SE sebesar 0,08 pada pengukuran laser 1310 nm dan 0,116 pada pengukuran laser 1552 nm.

Range pengukuran daya optis yang diperoleh yaitu -45 s/d -5 dBm pada laser 1310 nm dan -45 s/d 5 dBm pada laser 1552 nm. Sehingga span pengukuran daya optis adalah 40 dBm dan 50 dBm untuk laser 1310 nm dan 1552 nm.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancangan laser power meter menghasilkan rentang pengukuran daya optis -45 s/d -5 dBm untuk pengukuran laser dengan panjang gelombang 1310 nm dan -45 s/d 5 dBm untuk pengukuran laser dengan panjang gelombang 1552 nm. Dengan span output sebesar 40 dBm untuk laser 1310 nm dan 50 dBm untuk laser 1552 nm. Perbedaan rentang pengukuran disebabkan nilai daya optis dari sumber cahaya yang berbeda. Laser 1310 nm diset pada nilai daya optis mendekati 0 dBm, sedangkan laser 1552 diset pada nilai 5 dBm.
2. Rancangan laser power meter yang dibuat memiliki tingkat linieritas yang tinggi, terbukti dengan gradien grafik nilai 1 (satu), yaitu 1,012624 untuk pengukuran laser 1310 nm dan 1,010224 untuk pengukuran laser 1552 nm.
3. Tingkat akurasi dari rancangan laser power meter terlihat dari nilai SE (*Standart Error*) yakni 0,08 pada pengukuran laser 1310 nm dan 0,116 pada pengukuran laser 1552 nm. Nilai SE yang mendekati 0 menunjukkan tingkat akurasi alat yang tinggi.
4. Tingkat presisi dari rancangan laser power meter terlihat dari nilai simpangan baku, yaitu kurang dari 0,25 pada pengukuran dengan laser 1310 nm maupun laser 1552 nm. Nilai simpangan baku yang kecil menunjukkan tingkat presisi yang tinggi. Dengan RSD maksimum 1,49% pada laser 1310 nm dan 9,04% pada laser 1552 nm.
5. Nilai histeresis maksimum dalam persen FSD untuk laser 1310 nm adalah 0,925%, sedangkan pada laser 1552 nm adalah 0,556%. Nilai histeresis yang kecil menunjukkan tingkat repeatabilitas alat yang tinggi.

6. Penggunaan sistem *autoranging* dengan menggunakan Arduino bermanfaat pada penerapan range pengukuran dinamis. Penggunaan Arduino juga memungkinkan pengembangan terus menerus pada rancangan laser power meter yang telah dibuat.
7. Biaya pembuatan laser power meter sangat kecil jika dibandingkan dengan harga OPM standar, namun dengan nilai akurasi dan presisi yang cukup tinggi, sehingga rancangan laser power meter dapat digunakan sebagai alat ukur daya optis yang handal.

5.2 Saran

Berikut merupakan saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Diharapkan sumber cahaya yang digunakan untuk pembuatan database memiliki rentang daya optis yang lebih lebar dan panjang gelombang yang berbeda sehingga diperoleh data yang lebih majemuk.
2. Diperlukan validator dengan rentang pengukuran daya optis yang lebih lebar untuk memperoleh database yang lebih lengkap

DAFTAR PUSTAKA

- Agilent Technologies. (2001). Agilent 8156A Optical Attenuator.
- Agrawal, G. P. (2002). *Fiber-Optic Communications Systems, Third Edition*. (3rd ed., Vol. 6). Ney York: A John Wiley Interscience & Sons Inc.
- Analog Devices, Inc. (2011). Op07.
- Anritsu. (n.d.). OPTICAL MEASURING INSTRUMENTS ML9002A.
- Astari, A. (Universitas S. U. (2011). *Automatic Leveling Pada Sliding Puzzle Game Berbasis Finite State Machine*. Universitas Sumatera Utara.
- Atef, M., & Zimmermann, H. (2013). Optical Communication over Plastic Optical Fibers, 172, 69–86. doi:10.1007/978-3-642-30388-3
- Bell, C. (2013). *Beginning Sensor Networks with Arduino and Raspberry Pi*. TECHNOLOGY IN ACTION.
- Bentley, J. (n.d.). *Principles of Measurement Systems*.
- Choudhury, D., Devi, M., & Barbara, A. K. (2006). Laser power meter : A simple optoelectronic set-up, 44(November), 801–804.
- Digi Inc. (n.d.). Arduino UNO Reference Design.
- Djuandi, F. (2011). *Pengenalan arduino*.
- Envall, J. (2006). *OPTICAL POWER MEASUREMENTS: APPLICATIONS IN FIBER OPTICS AND ULTRAVIOLET RADIOMETRY*. Helsinki University of Technology.
- Hayashi, K., Saitoh, K., Shibayama, Y., & Shirahama, K. (2009). A current to voltage converter for cryogenics using a CMOS operational amplifier. *Journal of Physics: Conference Series*, 150(1), 012016. doi:10.1088/1742-6596/150/1/012016
- Keiser, G. (1991). *Optical Fiber Communications*. (S. W, Ed.) (Second Ed.). McGraw-Hill, Inc.
- Krishnan, S., Bindra, K. S., & Oak, S. M. (2008). A sensitive and high dynamic range cw laser power meter, 12–17. doi:10.1063/1.3033165

Multicomp. (2006). HRS2 Series PCB Relays.

Mutiara, I. (2004). KONSEP PENGUKURAN DAN KESALAHAN. In *PENDIDIKAN DAN PELATIHAN (DIKLAT) TEKNIK PENGUKURAN DAN PEMETAAN KOTA Surabaya* (pp. 0–6).

National Plastic Heater Sensor & Control Co. (2000). Relays.

Santoso, T. B. (FT U. (2010). *Analisis Kualitas Redaman Serat Optik Untuk Meningkatkan Kinerja Sistem Telekomunikasi Dengan Menggunakan Doe*.

Tavernier, F., & Steyaert, M. (2011). *High-Speed Optical Receivers with Integrated Photodiode in Nanoscale CMOS*. New York, NY: Springer New York. doi:10.1007/978-1-4419-9925-2

Thorlabs. (2013). FGA01FC. Thorlabs.com.

Wadhana, E. K., & Setijono, H. (2010). Analisa Redaman Serat Optik Terhadap Kinerja Sistem Komunikasi Serat Optik Menggunakan Metode Optical Link Power Budget. *Jurnal Teknik Fisika Akultas Teknologi Industri ITS*, 1–11.

LAMPIRAN A
Hasil Karakterisasi Tegangan Output dan Daya Optis Laser Dioda 1310 nm (LPS-1310-FC)

Mode Kombinasi Hambatan (Ohm)	90	900,01	9000,9	Tegangan output (Volt)			10M	Daya	
				90090,09	909090,9			dBm	Miliwatt
Atenuasi (dB)									
0	0,077083	0,769217	5,320167	5,397167	5,457333	5,505	-3,365	0,460787	
1	0,060167	0,600467	5,320667	5,397667	5,457833	5,506	-4,42167	0,361271	
2	0,047817	0,477883	4,746667	5,397333	5,4575	5,505333	-5,44167	0,285649	
3	0,037833	0,37785	3,783	5,398	5,457833	5,505167	-6,44167	0,226899	
4	0,028767	0,288233	2,880667	5,397333	5,457667	5,505167	-7,59167	0,174114	
5	0,02375	0,238783	2,384167	5,398	5,458167	5,5055	-8,39667	0,144655	
6	0,019083	0,189683	1,899267	5,397333	5,457833	5,505333	-9,42667	0,114113	
7	0,014767	0,14695	1,457617	5,3975	5,457667	5,505167	-10,5917	0,087264	
8	0,01195	0,119267	1,189667	5,397667	5,457833	5,505167	-11,455	0,071532	
9	0,009733	0,096067	0,956867	5,3975	5,457667	5,505333	-12,4317	0,057126	
10	0,0078	0,076667	0,765983	5,397667	5,457667	5,505167	-13,4217	0,045481	
11	0,006117	0,060867	0,60745	5,3615	5,457833	5,505	-14,405	0,036266	

12	0,004833	0,04855	0,483067	4,893167	5,457833	5,505167	-15,4033	0,028818
13	0,003833	0,038233	0,384433	3,854167	5,457833	5,505	-16,39	0,022961
14	0,002967	0,029817	0,297317	3,0035	5,398667	5,416333	-17,475	0,017885
15	0,0024	0,024217	0,23985	2,4355	5,3655	5,371833	-18,3967	0,014465
16	0,0019	0,019167	0,191883	1,939217	5,366833	5,374	-19,4167	0,011438
17	0,0015	0,015267	0,152817	1,527867	5,366667	5,3745	-20,455	0,009005
18	0,0012	0,012	0,120433	1,21095	5,366167	5,374167	-21,3933	0,007255
19	0,000917	0,009617	0,09545	0,963667	5,347333	5,374667	-22,4617	0,005673
20		0,00745	0,074133	0,75115	5,346667	5,3745	-23,555	0,004411
21		0,006067	0,0605	0,612167	5,3455	5,374	-24,4433	0,003595
22		0,004817	0,048067	0,485	4,897333	5,3735	-25,4367	0,00286
23		0,003817	0,038117	0,3853	3,8785	5,347167	-26,4333	0,002273
24		0,002983	0,030167	0,3063	3,087667	5,346667	-27,4267	0,001809
25		0,0024	0,024117	0,2419	2,439833	5,3465	-28,43	0,001435
26		0,0019	0,019033	0,1912	1,934	5,345833	-29,4683	0,00113
27		0,0015	0,01505	0,15185	1,532683	5,345667	-30,52	0,000887
28		0,0012	0,011883	0,120583	1,21715	5,345667	-31,515	0,000706
29		0,000917	0,00955	0,09625	0,970367	5,345333	-32,5183	0,00056

30				0,00775	0,076467	0,774667	5,345167	-33,5	0,000447
31				0,006017	0,06025	0,6102	5,345	-34,5383	0,000352
32				0,004817	0,048333	0,486433	5,225167	-35,5267	0,00028
33				0,0038	0,038367	0,387417	4,159667	-36,545	0,000222
34				0,003017	0,030467	0,3073	3,319	-37,54	0,000176
35				0,0024	0,024383	0,243167	2,618667	-38,5733	0,000139
36				0,0019	0,01915	0,193633	2,087333	-39,625	0,000109
37				0,0015	0,01565	0,155383	1,671883	-40,665	8,58E-05
38				0,001183	0,012167	0,12375	1,324767	-41,7383	6,7E-05
39				0,000983	0,009833	0,098817	1,05975	-42,7667	5,29E-05
40				0,0008	0,007833	0,078767	0,845933	-43,84	4,13E-05
41				0,0006	0,006317	0,063233	0,678383	-44,905	3,23E-05
42				0,0005	0,005	0,0504	0,543333	-46,0317	2,49E-05
43					0,004033	0,040633	0,437583	-47,17	1,92E-05
44					0,003267	0,032827	0,353667	-48,3283	1,47E-05
45					0,00265	0,026733	0,286883	-49,61	1,09E-05
46					0,00215	0,021533	0,231967	-51,0217	7,9E-06
47					0,001767	0,017733	0,19	-52,46	5,68E-06

48					0,001433	0,014633	0,15605	-54,1533	3,84E-06
49					0,001183	0,01205	0,129517	-56,185	2,41E-06
50					0,001	0,0101	0,108933	-58,8667	1,3E-06

Hasil Karakterisasi Tegangan Output dan Daya Optis Laser 1552 nm (LT-5001N)

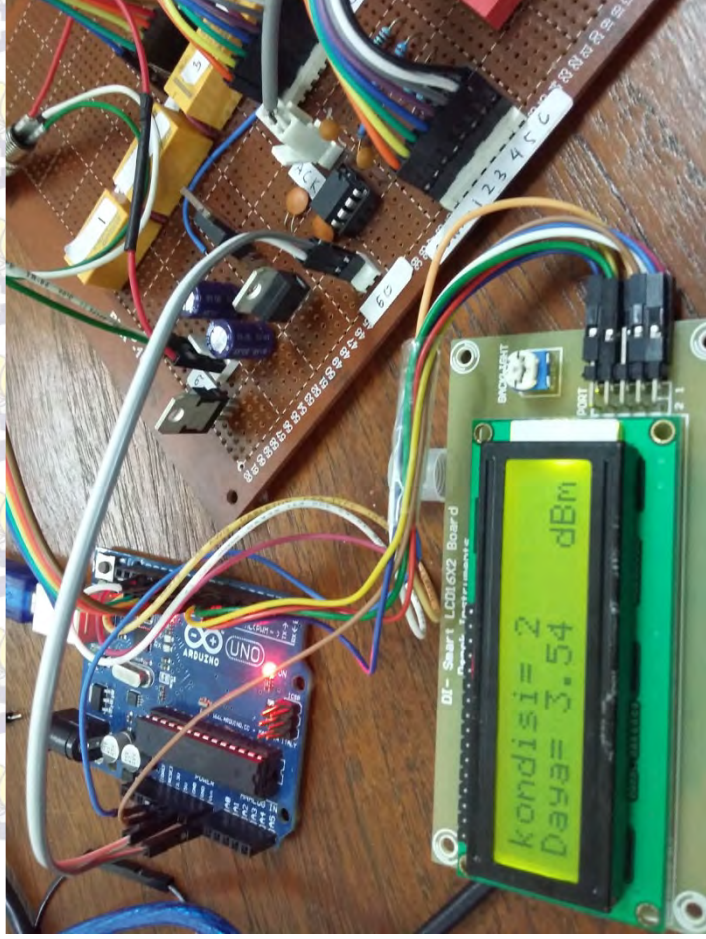
Mode Kombinasi Hambatan (Ohm)	90	900,01	9000,9	90090,09	909090,9	10M	Daya	
Atenuasi (dB)	Tegangan output (Volt)						dBm	Miliwatt
0	0,47405	4,684	5,322	5,4	5,4605	5,508	4,3	2,691535
1	0,37955	3,7955	5,322	5,4	5,4605	5,508	3,42	2,19786
2	0,2967	3,0365	5,322	5,4	5,4605	5,508	2,42	1,745822
3	0,2393	2,383	5,322	5,4	5,4605	5,508	1,29	1,34586
4	0,18625	1,8599	5,322	5,4	5,4605	5,508	0,25	1,059254
5	0,15065	1,4811	5,322	5,4	5,4605	5,508	-0,67	0,857038
6	0,11825	1,1889	5,322	5,4	5,4605	5,508	-1,81	0,659174
7	0,0913	0,9063	5,322	5,4	5,4605	5,508	-2,85	0,5188
8	0,07395	0,73335	5,322	5,4	5,4605	5,508	-3,8	0,416869
9	0,0598	0,5953	5,322	5,4	5,4605	5,508	4,73	0,336512

10	0,0476	0,47145	4,766	5,4	5,4605	5,508	-5,65	0,27227
11	0,0375	0,3711	3,7725	5,4	5,4605	5,508	-6,64	0,21677
12	0,0301	0,29485	3,0035	5,4	5,4605	5,508	-7,77	0,167109
13	0,02385	0,2314	2,34	5,4	5,4605	5,508	-8,74	0,13366
14	0,01895	0,1856	1,8881	5,4	5,4605	5,508	-9,66	0,108143
15	0,0151	0,1493	1,50895	5,4	5,4605	5,508	-10,83	0,082604
16	0,0122	0,119	1,18515	5,4	5,4605	5,508	-11,77	0,066527
17	0,00965	0,0952	0,9438	5,4	5,4605	5,508	-12,72	0,053456
18	0,00755	0,07495	0,75475	5,4	5,4605	5,508	-13,74	0,042267
19	0,00595	0,0592	0,58895	5,4	5,4605	5,508	-14,76	0,03342
20	0,0048	0,0471	0,4661	4,8665	5,4605	5,508	-15,82	0,026182
21	0,00385	0,0375	0,3724	3,8665	5,4605	5,508	-16,71	0,02133
22	0,00325	0,02985	0,2976	3,066	5,4605	5,508	-17,65	0,017179
23	0,00255	0,02385	0,2381	2,411	5,4605	5,426	-18,66	0,013614
24	0,00205	0,0193	0,18595	1,949	5,4605	5,43	-19,76	0,010568
25	0,0017	0,0151	0,14935	1,53105	5,4605	5,43	-20,82	0,008279
26	0,0014	0,01215	0,11955	1,2121	5,4605	5,43	-21,81	0,006592
27	0,0011	0,0096	0,09405	0,96185	5,4605	5,43	-22,84	0,0052

28	0,00755	0,0754	0,7644	5,4605	5,43	-23,81	0,004159
29	0,00605	0,05905	0,6035	5,4605	5,43	-24,68	0,003404
30	0,0048	0,04675	0,48315	4,875	5,431	-25,7	0,002692
31	0,0038	0,0383	0,38735	3,8775	5,431	-26,69	0,002143
32	0,00305	0,03045	0,31115	3,119	5,431	-27,66	0,001714
33	0,0024	0,0243	0,24665	2,4435	5,432	-28,71	0,001346
34	0,0019	0,01915	0,1943	1,9823	5,4335	-29,74	0,001062
35	0,0015	0,0152	0,15385	1,5654	5,4335	-30,77	0,000838
36	0,0012	0,01205	0,1237	1,2309	5,4335	-31,74	0,00067
37	0,00095	0,00975	0,0983	0,9888	5,434	-32,82	0,000522
38		0,0078	0,0784	0,78375	5,352	-33,71	0,000426
39		0,00605	0,06225	0,62435	5,352	-34,72	0,000337
40		0,005	0,04905	0,49975	5,3345	-35,8	0,000263
41		0,00385	0,0394	0,39355	4,2095	-36,73	0,000212
42		0,0031	0,03125	0,31435	3,3875	-37,72	0,000169
43		0,0024	0,0249	0,2499	2,7025	-38,72	0,000134
44		0,0019	0,0195	0,19875	2,1265	-39,83	0,000104
45		0,0015	0,0159	0,1589	1,69785	-40,95	8,04E-05

46					0,0012	0,01245	0,1271	1,3553	-41,87	6,5E-05
47					0,00095	0,00995	0,1014	1,0909	-42,99	5,02E-05
48						0,008	0,08055	0,853	-43,97	4,01E-05
49						0,0063	0,0645	0,69485	-45,09	3,1E-05
50						0,00515	0,05115	0,55675	-46,29	2,35E-05
51						0,0041	0,04175	0,44845	-47,33	1,85E-05
52						0,0033	0,0335	0,36325	-48,49	1,42E-05
53						0,00265	0,02705	0,29495	-49,61	1,09E-05
54						0,0022	0,02205	0,23695	-51,06	7,83E-06
55						0,00175	0,01805	0,19545	-52,33	5,85E-06
56						0,00145	0,015	0,15905	-53,83	4,14E-06
57						0,0012	0,01215	0,1319	-55,75	2,66E-06
58						0,00105	0,01025	0,10955	-57,97	1,6E-06

Display Laser Power Meter



LAMPIRAN B

PROGRAM ARDUINO UNTUK LASER 1310 NM

```
#define RELAY6 6
#define RELAY5 7
#define RELAY4 8
#define RELAY3 9
#include<LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,2);
float daya;
unsigned int voltage, kondisi=2;

void BacaTegangan() {
    voltage = analogRead(A0);
}

void Mode6() {
    digitalWrite(RELAY6,HIGH);
    digitalWrite(RELAY5,LOW);
    digitalWrite(RELAY4,LOW);
    digitalWrite(RELAY3,LOW);
    delay(50);
    BacaTegangan();
    delay(50);
}

void Mode5() {
    digitalWrite(RELAY6,HIGH);
    digitalWrite(RELAY5,HIGH);
    digitalWrite(RELAY4,LOW);
    digitalWrite(RELAY3,LOW);
    delay(50);
    BacaTegangan();
    delay(50);
}
```

```

void Mode4() {
    digitalWrite(RELAY6,HIGH);
    digitalWrite(RELAY5,HIGH);
    digitalWrite(RELAY4,HIGH);
    digitalWrite(RELAY3,LOW);
    delay(50);
    BacaTegangan();
    delay(50);
}

```

```

void Mode3() {
    digitalWrite(RELAY6,HIGH);
    digitalWrite(RELAY5,HIGH);
    digitalWrite(RELAY4,HIGH);
    digitalWrite(RELAY3,HIGH);
    delay(50);
    BacaTegangan();
    delay(50);
}

```

```

void tampilkan() {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("kondisi=");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Daya=");
    lcd.setCursor(9, 0);
    lcd.print(kondisi);
    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.print(daya);
    lcd.setCursor(13, 1);
    lcd.print("dBm");
    delay(500);
}

```

```

void Power6() {
    daya=(4.699* log(voltage*(5.0/1023.0)))-43.12;
}

```



```

    tampilkan();
    delay(10);
}

void Power5() {
    daya=(4.382* log (voltage*(5.0/1023.0)))-32.37;
    tampilkan();
    delay(10);
}

void Power4() {
    daya=(4.359* log (voltage*(5.0/1023.0)))-22.28;
    tampilkan();
    delay(10);
}

void Power3() {
    daya=(4.368* log (voltage*(5.0/1023.0)))-12.23;
    tampilkan();
    delay(10);
}

void OutOfRange() {
    lcd.clear();
    lcd.print("Out Of Range");
}

void setup() {
    pinMode(RELAY6,OUTPUT);
    pinMode(RELAY5,OUTPUT);
    pinMode(RELAY4,OUTPUT);
    pinMode(RELAY3,OUTPUT);
    lcd.begin(16,2);
}

void loop() {
    switch (kondisi) {

```

```

case 7: //out range bawah
Mode6();
OutOfRange();
if (voltage>=77 && voltage<=942 && kondisi==7) {
    kondisi=6;
}
else {
    OutOfRange();
    kondisi=7;
}
break;

case 6:
Mode6();
Power6();
if (voltage>=77 && voltage<=942) {
    kondisi=6;
}
else if (voltage<77 && kondisi==6) {
    kondisi=7;
}
else if (voltage>942 && kondisi==6) {
    kondisi=5;
}
break;

case 5:
Mode5();
Power5();
if (voltage>=77 && voltage<=942) {
    kondisi=5;
}
else if (voltage<77 && kondisi==5) {
    kondisi=6;
}
else if (voltage>942 && kondisi==5) {
    kondisi=4;
}

```

```
}  
break;
```

```
case 4:  
Mode4();  
Power4();  
if (voltage >= 77 && voltage <= 942) {  
    kondisi=4;  
}  
else if (voltage < 77 && kondisi == 4) {  
    kondisi=5;  
}  
else if (voltage > 942 && kondisi == 4) {  
    kondisi=3;  
}  
break;
```

```
case 3:  
Mode3();  
Power3();  
if (voltage >= 77 && voltage <= 942) {  
    kondisi=3;  
}  
else if (voltage < 77 && kondisi == 3) {  
    kondisi=4;  
}  
else if (voltage > 942 && kondisi == 3) {  
    kondisi=2;  
}  
break;
```

```
case 2: //out range atas  
Mode3();  
if (voltage >= 77 && voltage <= 942 && kondisi == 2) {  
    kondisi=3;  
}  
else {
```



```

    kondisi=2;
    OutOfRange();
}
break;

default:
    OutOfRange();
    kondisi=2;
}
delay(10);
}

```

PROGRAM ARDUINO UNTUK LASER 1552 NM

```

#define RELAY6 6
#define RELAY5 7
#define RELAY4 8
#define RELAY3 9
#define RELAY2 10
#include<LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,2);
float daya;
unsigned int voltage, kondisi=1;

void BacaTegangan() {
    voltage = analogRead(A0);
}

void Mode6() {
    digitalWrite(RELAY6,HIGH);
    digitalWrite(RELAY5,LOW);
    digitalWrite(RELAY4,LOW);
    digitalWrite(RELAY3,LOW);
    digitalWrite(RELAY2,LOW);
    delay(50);
    BacaTegangan();
    delay(50);
}

```

}

```
void Mode5() {  
  digitalWrite(RELAY6,HIGH);  
  digitalWrite(RELAY5,HIGH);  
  digitalWrite(RELAY4,LOW);  
  digitalWrite(RELAY3,LOW);  
  digitalWrite(RELAY2,LOW);  
  delay(50);  
  BacaTegangan();  
  delay(50);  
}
```

```
void Mode4() {  
  digitalWrite(RELAY6,HIGH);  
  digitalWrite(RELAY5,HIGH);  
  digitalWrite(RELAY4,HIGH);  
  digitalWrite(RELAY3,LOW);  
  digitalWrite(RELAY2,LOW);  
  delay(50);  
  BacaTegangan();  
  delay(50);  
}
```

```
void Mode3() {  
  digitalWrite(RELAY6,HIGH);  
  digitalWrite(RELAY5,HIGH);  
  digitalWrite(RELAY4,HIGH);  
  digitalWrite(RELAY3,HIGH);  
  digitalWrite(RELAY2,LOW);  
  delay(50);  
  BacaTegangan();  
  delay(50);  
}
```

```
void Mode2() {  
  digitalWrite(RELAY6,HIGH);
```

```
digitalWrite(RELAY5,HIGH);
digitalWrite(RELAY4,HIGH);
digitalWrite(RELAY3,HIGH);
digitalWrite(RELAY2,HIGH);
delay(50);
BacaTegangan();
delay(50);
}
```

```
void tampilkan() {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("kondisi=");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Daya=");
  lcd.setCursor(9, 0);
  lcd.print(kondisi);
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print(daya);
  lcd.setCursor(13, 1);
  lcd.print("dBm");
  delay(500);
}
```

```
void Power6() {
  daya=(4.762* log(voltage*(5.0/1023.0)))-43.45;
  tampilkan();
  delay(10);
}
```

```
void Power5() {
  daya=(4.402* log (voltage*(5.0/1023.0)))-32.68;
  tampilkan();
  delay(10);
}
```

```
void Power4() {
```



```

    daya=(4.327* log (voltage*(5.0/1023.0)))-22.59;
    tampilkan();
    delay(10);
}

void Power3() {
    daya=(4.368* log (voltage*(5.0/1023.0)))-12.49;
    tampilkan();
    delay(10);
}

void Power2() {
    daya=(4.36* log (voltage*(5.0/1023.0)))-2.441;
    tampilkan();
    delay(10);
}

void OutOfRange() {
    lcd.clear();
    lcd.print("Out Of Range");
}

void setup() {
    pinMode(RELAY6,OUTPUT);
    pinMode(RELAY5,OUTPUT);
    pinMode(RELAY4,OUTPUT);
    pinMode(RELAY3,OUTPUT);
    pinMode(RELAY2,OUTPUT);
    lcd.begin(16,2);
}

void loop() {
    switch (kondisi) {
        case 7: //out range bawah
            Mode6();
            OutOfRange();
            if (voltage>=74 && voltage<=1005 && kondisi==7) {

```

```

    kondisi=6;
    }
    else {
        OutOfRange();
        kondisi=7;
    }
    break;

    case 6:
        Mode6();
        Power6();
        if (voltage>=74 && voltage<=1005) {
            kondisi=6;
        }
        else if (voltage<74 && kondisi==6) {
            kondisi=7;
        }
        else if (voltage>1005 && kondisi==6) {
            kondisi=5;
        }
        break;

    case 5:
        Mode5();
        Power5();
        if (voltage>=74 && voltage<=1005) {
            kondisi=5;
        }
        else if (voltage<74 && kondisi==5) {
            kondisi=6;
        }
        else if (voltage>1005 && kondisi==5) {
            kondisi=4;
        }
        break;

```

case 4:

```

Mode4();
Power4();
if (voltage >= 74 && voltage <= 1005) {
    kondisi=4;
}
else if (voltage < 74 && kondisi == 4) {
    kondisi=5;
}
else if (voltage > 1005 && kondisi == 4) {
    kondisi=3;
}
break;

case 3:
Mode3();
Power3();
if (voltage >= 74 && voltage <= 1005) {
    kondisi=3;
}
else if (voltage < 74 && kondisi == 3) {
    kondisi=4;
}
else if (voltage > 1005 && kondisi == 3) {
    kondisi=2;
}
break;

case 2:
Mode2();
Power2();
if (voltage >= 74 && voltage <= 1005) {
    kondisi=2;
}
else if (voltage < 74 && kondisi == 2) {
    kondisi=3;
}
else if (voltage > 1005 && kondisi == 2) {

```



```
kondisi=1;  
}  
break;
```

```
case 1: //out range atas  
Mode2();
```

```
if (voltage>=74 && voltage <= 1005 && kondisi==1) {
```

```
    kondisi=2;
```

```
}
```

```
else {
```

```
    kondisi=1;
```

```
    OutOfRange();
```

```
}
```

```
break;
```

```
default:
```

```
    OutOfRange();
```

```
    kondisi=1;
```

```
}
```

```
delay(10);
```

```
}
```

LAMPIRAN C

Hasil Validasi Laser Power Meter dengan Menggunakan Laser 1310 nm

No	Laser Power Meter Arduino	OPM Standart
1	-5,92	-6,12
2	-7,05	-7,29
3	-7,87	-8,08
4	-8,89	-9,05
5	-10,06	-10,16
6	-10,97	-11,03
7	-11,95	-12
8	-12,97	-12,98
9	-14,04	-13,98
10	-15,10	-14,99
11	-15,98	-15,99
12	-16,99	-17,11
13	-17,92	-18
14	-18,91	-18,97
15	-19,92	-20,04
16	-20,98	-21,02
17	-21,99	-22,03
18	-23,15	-23,13
19	-24,07	-24,02
20	-25,12	-25
21	-26,05	-25,99
22	-26,92	-27
23	-27,95	-28
24	-28,99	-29,01
25	-30,05	-30,11

26	-31,04	-31,11
27	-32,06	-32,1
28	-33,08	-33,09
29	-34,22	-34,17
30	-35,28	-35,1
31	-36,28	-36,17
32	-37,03	-37,12
33	-38,12	-38,14
34	-39,18	-39,15
35	-40,26	-40,22
36	-41,39	-41,28
37	-42,50	-42,31
38	-43,61	-43,36
39	-44,75	-44,43
40	-45,79	-45,53
41	-46,96	-46,65

**Hasil Validasi Laser Power Meter dengan Menggunakan
Laser 1552 nm**

No	Laser Power Meter Arduino	OPM Standart
1	4,48	4,34
2	3,47	3,37
3	2,46	2,38
4	1,35	1,35
5	0,28	0,27
6	-0,69	-0,69
7	-1,74	-1,72
8	-2,90	-2,89
9	-3,81	-3,76

10	-4,85	-4,73
11	-5,79	-5,69
12	-6,61	-6,72
13	-7,66	-7,74
14	-8,75	-8,78
15	-9,78	-9,68
16	-10,72	-10,75
17	-11,73	-11,73
18	-12,76	-12,79
19	-13,81	-13,75
20	-14,97	-14,79
21	-15,87	-15,81
22	-16,77	-16,72
23	-17,79	-17,76
24	-18,76	-18,76
25	-19,78	-19,71
26	-20,79	-20,75
27	-21,82	-21,8
28	-22,85	-22,81
29	-23,77	-23,77
30	-24,92	-24,79
31	-25,86	-25,79
32	-26,74	-26,78
33	-27,72	-27,71
34	-28,74	-28,71
35	-29,77	-29,69
36	-30,82	-30,83
37	-31,87	-31,77
38	-32,88	-32,77
39	-33,91	-33,78

40	-34,96	-34,8
41	-36,06	-35,81
42	-36,68	-36,78
43	-37,69	-37,8
44	-38,79	-38,77
45	-39,90	-39,82
46	-40,96	-40,87
47	-42,08	-41,92
48	-43,18	-42,94
49	-44,26	-43,93
50	-45,38	-44,99
51	-46,52	-46,07
52	-47,56	-47,17

LAMPIRAN A
Hasil Karakterisasi Tegangan Output dan Daya Optis Laser Dioda 1310 nm (LPS-1310-FC)

Mode Kombinasi Hambatan (Ohm)	90	900,01	9000,9	90090,09	909090,9	10M	Daya	
							dBm	Miliwatt
Atenuasi (dB)	Tegangan output (Volt)							
0	0,077083	0,769217	5,320167	5,397167	5,457333	5,505	-3,365	0,460787
1	0,060167	0,600467	5,320667	5,397667	5,457833	5,506	-4,42167	0,361271
2	0,047817	0,477883	4,746667	5,397333	5,4575	5,505333	-5,44167	0,285649
3	0,037833	0,37785	3,783	5,398	5,457833	5,505167	-6,44167	0,226899
4	0,028767	0,288233	2,880667	5,397333	5,457667	5,505167	-7,59167	0,174114
5	0,02375	0,238783	2,384167	5,398	5,458167	5,5055	-8,39667	0,144655
6	0,019083	0,189683	1,899267	5,397333	5,457833	5,505333	-9,42667	0,114113
7	0,014767	0,14695	1,457617	5,3975	5,457667	5,505167	-10,5917	0,087264
8	0,01195	0,119267	1,189667	5,397667	5,457833	5,505167	-11,455	0,071532
9	0,009733	0,096067	0,956867	5,3975	5,457667	5,505333	-12,4317	0,057126
10	0,0078	0,076667	0,765983	5,397667	5,457667	5,505167	-13,4217	0,045481
11	0,006117	0,060867	0,60745	5,3615	5,457833	5,505	-14,405	0,036266

12	0,004833	0,04855	0,483067	4,893167	5,457833	5,505167	-15,4033	0,028818
13	0,003833	0,038233	0,384433	3,854167	5,457833	5,505	-16,39	0,022961
14	0,002967	0,029817	0,297317	3,0035	5,398667	5,416333	-17,475	0,017885
15	0,0024	0,024217	0,23985	2,4355	5,3655	5,371833	-18,3967	0,014465
16	0,0019	0,019167	0,191883	1,939217	5,366833	5,374	-19,4167	0,011438
17	0,0015	0,015267	0,152817	1,527867	5,366667	5,3745	-20,455	0,009005
18	0,0012	0,012	0,120433	1,21095	5,366167	5,374167	-21,3933	0,007255
19	0,000917	0,009617	0,09545	0,963667	5,347333	5,374667	-22,4617	0,005673
20		0,00745	0,074133	0,75115	5,346667	5,3745	-23,555	0,004411
21		0,006067	0,0605	0,612167	5,3455	5,374	-24,4433	0,003595
22		0,004817	0,048067	0,485	4,897333	5,3735	-25,4367	0,00286
23		0,003817	0,038117	0,3853	3,8785	5,347167	-26,4333	0,002273
24		0,002983	0,030167	0,3063	3,087667	5,346667	-27,4267	0,001809
25		0,0024	0,024117	0,2419	2,439833	5,3465	-28,43	0,001435
26		0,0019	0,019033	0,1912	1,934	5,345833	-29,4683	0,00113
27		0,0015	0,01505	0,15185	1,532683	5,345667	-30,52	0,000887
28		0,0012	0,011883	0,120583	1,21715	5,345667	-31,515	0,000706
29		0,000917	0,00955	0,09625	0,970367	5,345333	-32,5183	0,00056

30				0,00775	0,076467	0,774667	5,345167	-33,5	0,000447
31				0,006017	0,06025	0,6102	5,345	-34,5383	0,000352
32				0,004817	0,048333	0,486433	5,225167	-35,5267	0,00028
33				0,0038	0,038367	0,387417	4,159667	-36,545	0,000222
34				0,003017	0,030467	0,3073	3,319	-37,54	0,000176
35				0,0024	0,024383	0,243167	2,618667	-38,5733	0,000139
36				0,0019	0,01915	0,193633	2,087333	-39,625	0,000109
37				0,0015	0,01565	0,155383	1,671883	-40,665	8,58E-05
38				0,001183	0,012167	0,12375	1,324767	-41,7383	6,7E-05
39				0,000983	0,009833	0,098817	1,05975	-42,7667	5,29E-05
40				0,0008	0,007833	0,078767	0,845933	-43,84	4,13E-05
41				0,0006	0,006317	0,063233	0,678383	-44,905	3,23E-05
42				0,0005	0,005	0,0504	0,543333	-46,0317	2,49E-05
43					0,004033	0,040633	0,437583	-47,17	1,92E-05
44					0,003267	0,032827	0,353667	-48,3283	1,47E-05
45					0,00265	0,026733	0,286883	-49,61	1,09E-05
46					0,00215	0,021533	0,231967	-51,0217	7,9E-06
47					0,001767	0,017733	0,19	-52,46	5,68E-06

48					0,001433	0,014633	0,15605	-54,1533	3,84E-06
49					0,001183	0,01205	0,129517	-56,185	2,41E-06
50					0,001	0,0101	0,108933	-58,8667	1,3E-06

Hasil Karakterisasi Tegangan Output dan Daya Optis Laser 1552 nm (LT-5001N)

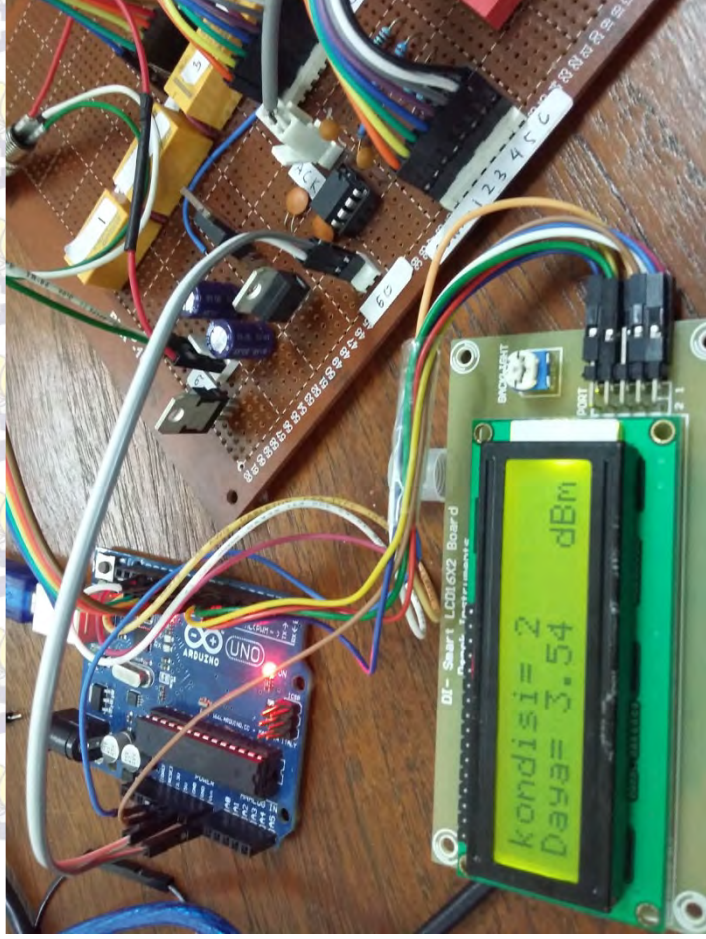
Mode Kombinasi Hambatan (Ohm)	90	900,01	9000,9	90090,09	909090,9	10M	Daya	
Atenuasi (dB)	Tegangan output (Volt)						dBm	Miliwatt
0	0,47405	4,684	5,322	5,4	5,4605	5,508	4,3	2,691535
1	0,37955	3,7955	5,322	5,4	5,4605	5,508	3,42	2,19786
2	0,2967	3,0365	5,322	5,4	5,4605	5,508	2,42	1,745822
3	0,2393	2,383	5,322	5,4	5,4605	5,508	1,29	1,34586
4	0,18625	1,8599	5,322	5,4	5,4605	5,508	0,25	1,059254
5	0,15065	1,4811	5,322	5,4	5,4605	5,508	-0,67	0,857038
6	0,11825	1,1889	5,322	5,4	5,4605	5,508	-1,81	0,659174
7	0,0913	0,9063	5,322	5,4	5,4605	5,508	-2,85	0,5188
8	0,07395	0,73335	5,322	5,4	5,4605	5,508	-3,8	0,416869
9	0,0598	0,5953	5,322	5,4	5,4605	5,508	4,73	0,336512

10	0,0476	0,47145	4,766	5,4	5,4605	5,508	-5,65	0,27227
11	0,0375	0,3711	3,7725	5,4	5,4605	5,508	-6,64	0,21677
12	0,0301	0,29485	3,0035	5,4	5,4605	5,508	-7,77	0,167109
13	0,02385	0,2314	2,34	5,4	5,4605	5,508	-8,74	0,13366
14	0,01895	0,1856	1,8881	5,4	5,4605	5,508	-9,66	0,108143
15	0,0151	0,1493	1,50895	5,4	5,4605	5,508	-10,83	0,082604
16	0,0122	0,119	1,18515	5,4	5,4605	5,508	-11,77	0,066527
17	0,00965	0,0952	0,9438	5,4	5,4605	5,508	-12,72	0,053456
18	0,00755	0,07495	0,75475	5,4	5,4605	5,508	-13,74	0,042267
19	0,00595	0,0592	0,58895	5,4	5,4605	5,508	-14,76	0,03342
20	0,0048	0,0471	0,4661	4,8665	5,4605	5,508	-15,82	0,026182
21	0,00385	0,0375	0,3724	3,8665	5,4605	5,508	-16,71	0,02133
22	0,00325	0,02985	0,2976	3,066	5,4605	5,508	-17,65	0,017179
23	0,00255	0,02385	0,2381	2,411	5,4605	5,426	-18,66	0,013614
24	0,00205	0,0193	0,18595	1,949	5,4605	5,43	-19,76	0,010568
25	0,0017	0,0151	0,14935	1,53105	5,4605	5,43	-20,82	0,008279
26	0,0014	0,01215	0,11955	1,2121	5,4605	5,43	-21,81	0,006592
27	0,0011	0,0096	0,09405	0,96185	5,4605	5,43	-22,84	0,0052

28	0,00755	0,0754	0,7644	5,4605	5,43	-23,81	0,004159
29	0,00605	0,05905	0,6035	5,4605	5,43	-24,68	0,003404
30	0,0048	0,04675	0,48315	4,875	5,431	-25,7	0,002692
31	0,0038	0,0383	0,38735	3,8775	5,431	-26,69	0,002143
32	0,00305	0,03045	0,31115	3,119	5,431	-27,66	0,001714
33	0,0024	0,0243	0,24665	2,4435	5,432	-28,71	0,001346
34	0,0019	0,01915	0,1943	1,9823	5,4335	-29,74	0,001062
35	0,0015	0,0152	0,15385	1,5654	5,4335	-30,77	0,000838
36	0,0012	0,01205	0,1237	1,2309	5,4335	-31,74	0,00067
37	0,00095	0,00975	0,0983	0,9888	5,434	-32,82	0,000522
38		0,0078	0,0784	0,78375	5,352	-33,71	0,000426
39		0,00605	0,06225	0,62435	5,352	-34,72	0,000337
40		0,005	0,04905	0,49975	5,3345	-35,8	0,000263
41		0,00385	0,0394	0,39355	4,2095	-36,73	0,000212
42		0,0031	0,03125	0,31435	3,3875	-37,72	0,000169
43		0,0024	0,0249	0,2499	2,7025	-38,72	0,000134
44		0,0019	0,0195	0,19875	2,1265	-39,83	0,000104
45		0,0015	0,0159	0,1589	1,69785	-40,95	8,04E-05

46				0,0012	0,01245	0,1271	1,3553	-41,87	6,5E-05
47				0,00095	0,00995	0,1014	1,0909	-42,99	5,02E-05
48					0,008	0,08055	0,853	-43,97	4,01E-05
49					0,0063	0,0645	0,69485	-45,09	3,1E-05
50					0,00515	0,05115	0,55675	-46,29	2,35E-05
51					0,0041	0,04175	0,44845	-47,33	1,85E-05
52					0,0033	0,0335	0,36325	-48,49	1,42E-05
53					0,00265	0,02705	0,29495	-49,61	1,09E-05
54					0,0022	0,02205	0,23695	-51,06	7,83E-06
55					0,00175	0,01805	0,19545	-52,33	5,85E-06
56					0,00145	0,015	0,15905	-53,83	4,14E-06
57					0,0012	0,01215	0,1319	-55,75	2,66E-06
58					0,00105	0,01025	0,10955	-57,97	1,6E-06

Display Laser Power Meter



LAMPIRAN B

PROGRAM ARDUINO UNTUK LASER 1310 NM

```
#define RELAY6 6
#define RELAY5 7
#define RELAY4 8
#define RELAY3 9
#include<LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,2);
float daya;
unsigned int voltage, kondisi=2;

void BacaTegangan() {
    voltage = analogRead(A0);
}

void Mode6() {
    digitalWrite(RELAY6,HIGH);
    digitalWrite(RELAY5,LOW);
    digitalWrite(RELAY4,LOW);
    digitalWrite(RELAY3,LOW);
    delay(50);
    BacaTegangan();
    delay(50);
}

void Mode5() {
    digitalWrite(RELAY6,HIGH);
    digitalWrite(RELAY5,HIGH);
    digitalWrite(RELAY4,LOW);
    digitalWrite(RELAY3,LOW);
    delay(50);
    BacaTegangan();
    delay(50);
}
```

```

void Mode4() {
    digitalWrite(RELAY6,HIGH);
    digitalWrite(RELAY5,HIGH);
    digitalWrite(RELAY4,HIGH);
    digitalWrite(RELAY3,LOW);
    delay(50);
    BacaTegangan();
    delay(50);
}

```

```

void Mode3() {
    digitalWrite(RELAY6,HIGH);
    digitalWrite(RELAY5,HIGH);
    digitalWrite(RELAY4,HIGH);
    digitalWrite(RELAY3,HIGH);
    delay(50);
    BacaTegangan();
    delay(50);
}

```

```

void tampilkan() {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("kondisi=");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Daya=");
    lcd.setCursor(9, 0);
    lcd.print(kondisi);
    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.print(daya);
    lcd.setCursor(13, 1);
    lcd.print("dBm");
    delay(500);
}

```

```

void Power6() {
    daya=(4.699* log(voltage*(5.0/1023.0)))-43.12;
}

```



```

    tampilkan();
    delay(10);
}

void Power5() {
    daya=(4.382* log (voltage*(5.0/1023.0)))-32.37;
    tampilkan();
    delay(10);
}

void Power4() {
    daya=(4.359* log (voltage*(5.0/1023.0)))-22.28;
    tampilkan();
    delay(10);
}

void Power3() {
    daya=(4.368* log (voltage*(5.0/1023.0)))-12.23;
    tampilkan();
    delay(10);
}

void OutOfRange() {
    lcd.clear();
    lcd.print("Out Of Range");
}

void setup() {
    pinMode(RELAY6,OUTPUT);
    pinMode(RELAY5,OUTPUT);
    pinMode(RELAY4,OUTPUT);
    pinMode(RELAY3,OUTPUT);
    lcd.begin(16,2);
}

void loop() {
    switch (kondisi) {

```

```

case 7: //out range bawah
Mode6();
OutOfRange();
if (voltage>=77 && voltage<=942 && kondisi==7) {
    kondisi=6;
}
else {
    OutOfRange();
    kondisi=7;
}
break;

case 6:
Mode6();
Power6();
if (voltage>=77 && voltage<=942) {
    kondisi=6;
}
else if (voltage<77 && kondisi==6) {
    kondisi=7;
}
else if (voltage>942 && kondisi==6) {
    kondisi=5;
}
break;

case 5:
Mode5();
Power5();
if (voltage>=77 && voltage<=942) {
    kondisi=5;
}
else if (voltage<77 && kondisi==5) {
    kondisi=6;
}
else if (voltage>942 && kondisi==5) {
    kondisi=4;
}

```

```
}  
break;
```

```
case 4:  
Mode4();  
Power4();  
if (voltage >= 77 && voltage <= 942) {  
    kondisi=4;  
}  
else if (voltage < 77 && kondisi == 4) {  
    kondisi=5;  
}  
else if (voltage > 942 && kondisi == 4) {  
    kondisi=3;  
}  
break;
```

```
case 3:  
Mode3();  
Power3();  
if (voltage >= 77 && voltage <= 942) {  
    kondisi=3;  
}  
else if (voltage < 77 && kondisi == 3) {  
    kondisi=4;  
}  
else if (voltage > 942 && kondisi == 3) {  
    kondisi=2;  
}  
break;
```

```
case 2: //out range atas  
Mode3();  
if (voltage >= 77 && voltage <= 942 && kondisi == 2) {  
    kondisi=3;  
}  
else {
```



```

    kondisi=2;
    OutOfRange();
}
break;

default:
    OutOfRange();
    kondisi=2;
}
delay(10);
}

```

PROGRAM ARDUINO UNTUK LASER 1552 NM

```

#define RELAY6 6
#define RELAY5 7
#define RELAY4 8
#define RELAY3 9
#define RELAY2 10
#include<LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,2);
float daya;
unsigned int voltage, kondisi=1;

void BacaTegangan() {
    voltage = analogRead(A0);
}

void Mode6() {
    digitalWrite(RELAY6,HIGH);
    digitalWrite(RELAY5,LOW);
    digitalWrite(RELAY4,LOW);
    digitalWrite(RELAY3,LOW);
    digitalWrite(RELAY2,LOW);
    delay(50);
    BacaTegangan();
    delay(50);
}

```

}

```
void Mode5() {  
    digitalWrite(RELAY6,HIGH);  
    digitalWrite(RELAY5,HIGH);  
    digitalWrite(RELAY4,LOW);  
    digitalWrite(RELAY3,LOW);  
    digitalWrite(RELAY2,LOW);  
    delay(50);  
    BacaTegangan();  
    delay(50);  
}
```

```
void Mode4() {  
    digitalWrite(RELAY6,HIGH);  
    digitalWrite(RELAY5,HIGH);  
    digitalWrite(RELAY4,HIGH);  
    digitalWrite(RELAY3,LOW);  
    digitalWrite(RELAY2,LOW);  
    delay(50);  
    BacaTegangan();  
    delay(50);  
}
```

```
void Mode3() {  
    digitalWrite(RELAY6,HIGH);  
    digitalWrite(RELAY5,HIGH);  
    digitalWrite(RELAY4,HIGH);  
    digitalWrite(RELAY3,HIGH);  
    digitalWrite(RELAY2,LOW);  
    delay(50);  
    BacaTegangan();  
    delay(50);  
}
```

```
void Mode2() {  
    digitalWrite(RELAY6,HIGH);
```

```
digitalWrite(RELAY5,HIGH);  
digitalWrite(RELAY4,HIGH);  
digitalWrite(RELAY3,HIGH);  
digitalWrite(RELAY2,HIGH);  
delay(50);  
BacaTegangan();  
delay(50);  
}
```

```
void tampilkan() {  
  lcd.clear();  
  lcd.setCursor(0, 0);  
  lcd.print("kondisi=");  
  lcd.setCursor(0, 1);  
  lcd.print("Daya=");  
  lcd.setCursor(9, 0);  
  lcd.print(kondisi);  
  lcd.setCursor(6, 1);  
  lcd.print(daya);  
  lcd.setCursor(13, 1);  
  lcd.print("dBm");  
  delay(500);  
}
```

```
void Power6() {  
  daya=(4.762* log(voltage*(5.0/1023.0)))-43.45;  
  tampilkan();  
  delay(10);  
}
```

```
void Power5() {  
  daya=(4.402* log (voltage*(5.0/1023.0)))-32.68;  
  tampilkan();  
  delay(10);  
}
```

```
void Power4() {
```



```

    daya=(4.327* log (voltage*(5.0/1023.0)))-22.59;
    tampilkan();
    delay(10);
}

void Power3() {
    daya=(4.368* log (voltage*(5.0/1023.0)))-12.49;
    tampilkan();
    delay(10);
}

void Power2() {
    daya=(4.36* log (voltage*(5.0/1023.0)))-2.441;
    tampilkan();
    delay(10);
}

void OutOfRange() {
    lcd.clear();
    lcd.print("Out Of Range");
}

void setup() {
    pinMode(RELAY6,OUTPUT);
    pinMode(RELAY5,OUTPUT);
    pinMode(RELAY4,OUTPUT);
    pinMode(RELAY3,OUTPUT);
    pinMode(RELAY2,OUTPUT);
    lcd.begin(16,2);
}

void loop() {
    switch (kondisi) {
        case 7: //out range bawah
            Mode6();
            OutOfRange();
            if (voltage>=74 && voltage<=1005 && kondisi==7) {

```

```

    kondisi=6;
    }
    else {
        OutOfRange();
        kondisi=7;
    }
    break;

    case 6:
        Mode6();
        Power6();
        if (voltage>=74 && voltage<=1005) {
            kondisi=6;
        }
        else if (voltage<74 && kondisi==6) {
            kondisi=7;
        }
        else if (voltage>1005 && kondisi==6) {
            kondisi=5;
        }
        break;

    case 5:
        Mode5();
        Power5();
        if (voltage>=74 && voltage<=1005) {
            kondisi=5;
        }
        else if (voltage<74 && kondisi==5) {
            kondisi=6;
        }
        else if (voltage>1005 && kondisi==5) {
            kondisi=4;
        }
        break;

```

case 4:

```

Mode4();
Power4();
if (voltage >= 74 && voltage <= 1005) {
    kondisi=4;
}
else if (voltage < 74 && kondisi == 4) {
    kondisi=5;
}
else if (voltage > 1005 && kondisi == 4) {
    kondisi=3;
}
break;

case 3:
Mode3();
Power3();
if (voltage >= 74 && voltage <= 1005) {
    kondisi=3;
}
else if (voltage < 74 && kondisi == 3) {
    kondisi=4;
}
else if (voltage > 1005 && kondisi == 3) {
    kondisi=2;
}
break;

case 2:
Mode2();
Power2();
if (voltage >= 74 && voltage <= 1005) {
    kondisi=2;
}
else if (voltage < 74 && kondisi == 2) {
    kondisi=3;
}
else if (voltage > 1005 && kondisi == 2) {

```



```
kondisi=1;  
}  
break;
```

```
case 1: //out range atas  
Mode2();
```

```
if (voltage>=74 && voltage <= 1005 && kondisi==1) {
```

```
    kondisi=2;
```

```
    }
```

```
else {
```

```
    kondisi=1;
```

```
    OutOfRange();
```

```
    }
```

```
break;
```

```
default:
```

```
    OutOfRange();
```

```
    kondisi=1;
```

```
    }
```

```
    delay(10);
```

```
}
```

LAMPIRAN C

Hasil Validasi Laser Power Meter dengan Menggunakan Laser 1310 nm

No	Laser Power Meter Arduino	OPM Standart
1	-5,92	-6,12
2	-7,05	-7,29
3	-7,87	-8,08
4	-8,89	-9,05
5	-10,06	-10,16
6	-10,97	-11,03
7	-11,95	-12
8	-12,97	-12,98
9	-14,04	-13,98
10	-15,10	-14,99
11	-15,98	-15,99
12	-16,99	-17,11
13	-17,92	-18
14	-18,91	-18,97
15	-19,92	-20,04
16	-20,98	-21,02
17	-21,99	-22,03
18	-23,15	-23,13
19	-24,07	-24,02
20	-25,12	-25
21	-26,05	-25,99
22	-26,92	-27
23	-27,95	-28
24	-28,99	-29,01
25	-30,05	-30,11

26	-31,04	-31,11
27	-32,06	-32,1
28	-33,08	-33,09
29	-34,22	-34,17
30	-35,28	-35,1
31	-36,28	-36,17
32	-37,03	-37,12
33	-38,12	-38,14
34	-39,18	-39,15
35	-40,26	-40,22
36	-41,39	-41,28
37	-42,50	-42,31
38	-43,61	-43,36
39	-44,75	-44,43
40	-45,79	-45,53
41	-46,96	-46,65

**Hasil Validasi Laser Power Meter dengan Menggunakan
Laser 1552 nm**

No	Laser Power Meter Arduino	OPM Standart
1	4,48	4,34
2	3,47	3,37
3	2,46	2,38
4	1,35	1,35
5	0,28	0,27
6	-0,69	-0,69
7	-1,74	-1,72
8	-2,90	-2,89
9	-3,81	-3,76

10	-4,85	-4,73
11	-5,79	-5,69
12	-6,61	-6,72
13	-7,66	-7,74
14	-8,75	-8,78
15	-9,78	-9,68
16	-10,72	-10,75
17	-11,73	-11,73
18	-12,76	-12,79
19	-13,81	-13,75
20	-14,97	-14,79
21	-15,87	-15,81
22	-16,77	-16,72
23	-17,79	-17,76
24	-18,76	-18,76
25	-19,78	-19,71
26	-20,79	-20,75
27	-21,82	-21,8
28	-22,85	-22,81
29	-23,77	-23,77
30	-24,92	-24,79
31	-25,86	-25,79
32	-26,74	-26,78
33	-27,72	-27,71
34	-28,74	-28,71
35	-29,77	-29,69
36	-30,82	-30,83
37	-31,87	-31,77
38	-32,88	-32,77
39	-33,91	-33,78

40	-34,96	-34,8
41	-36,06	-35,81
42	-36,68	-36,78
43	-37,69	-37,8
44	-38,79	-38,77
45	-39,90	-39,82
46	-40,96	-40,87
47	-42,08	-41,92
48	-43,18	-42,94
49	-44,26	-43,93
50	-45,38	-44,99
51	-46,52	-46,07
52	-47,56	-47,17

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Ayu Rachma Permata Sari, dilahirkan di Kota Surabaya pada tanggal 20 Februari 1993. Memulai Sekolah Dasar di SDI Kardina Massa pada tahun 1999 hingga 2005. Kemudian Penulis melanjutkan bersekolah di SMP Negeri 3 Peterongan Jombang hingga tahun 2008. Jenjang selanjutnya, Penulis bersekolah di SMA Negeri 1 Blitar hingga tahun 2011. Penulis melanjutkan studi di Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri ITS Surabaya.

Penulis dapat dihubungi di email
ayurachmapermatasari@gmail.com.